

جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تعلیم و تربیت عبادت است

فیزیک

سال دوم ـ آموزش متوسطه عمومی

علوم تجربی ـ ریاضی و فیزیک

بسم الله الرحمن الرحيم

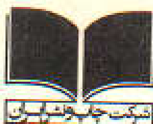
فیزیک

سال دوم

آموزش متوسطهٔ عمومی

علوم تجربی ـ ریاضی و فیزیک

۱۳۶۸



تهران ـ کیلومتر ۱۵ جاده مخصوص کرج
خیابان داروپخش ـ تلفن: ۴ ـ ۹۴۱۱۵۱

مؤلفان : ابوالقاسم قلم‌سیاه ● محمدعلی پیغامی ● محمود عرب‌اف

صفحه آرا : امیر غلامیان حمزه کلائی

طرح جلد از : محمدعلی کشاورز

چاپ از : **مطبوعات**

فهرست مندرجات

بسم الله الرحمن الرحیم

۱ انرژی گرمایی و دما

تاکنون آموخته‌اید که گرما صورتی از انرژی است . دربیشتر رویدادهای عادی دراین جهان هنگام تبدیل انرژیهای پتانسیل و جنبشی به‌یکدیگر گرما نیز تولید می‌شود . مطالعهٔ آثار این انرژی بر روی ماده ، این نظر را تأیید می‌کند که ماده ساختمان دانه‌ای دارد یعنی‌از ذرات ریز و جدا از هم به‌نام مولکول و اتم تشکیل یافته است‌و گرما بستگی به حرکت و انرژی این ذرات دارد . بنابراین مطالعهٔ انرژی گرمایی ، ما را به بررسی ساختمان ماده برمی‌گرداند و اطلاعات ما را دربارهٔ ساختمان دانه‌ای ماده بیشتر می‌کند .

گرما انرژی است

هنگامی‌که دستهای خودرا بهم می‌مالید حس می‌کنید که گرم می‌شوند . وقتی‌که قطعه‌های فلزی رابا اره می‌برید یاسوهان می‌زنید گرما تولیدمی‌شود. هنگامی‌که لاستیك دوچرخه را بایك تلمبه بادمی‌کنید هوایی‌که‌به وسیلهٔ تلمبه‌متراکم می‌گردد گرم می‌شود. این مثالها و مثالهای‌بی‌شماردیگر ، مانندآینها، نشان می‌دهند‌که انرژی مکانیکی به گرما تبدیل می‌شود و گرمایی که‌ازاین‌مبادله به‌دست‌می‌آید قابل‌اندازه‌گیری بوده و هم ارز انرژی مکانیکی است‌که صرف‌تولید آن می‌شود . علاوه براین گرما در موتور گرمایی ماننده‌موتوربخار، توربین بخار وموتورهای درونسوز به‌کار تبدیل می‌شود . بنابراین گرما به صورت‌انرژی است وما نند انرژی برحسب واحد ژول بیان می‌شود .

پرسش ۱-۱ - منابع‌تولید گرمارا که‌می‌شناسید کدامند ؟ آیا فقط انرژی مکانیکی به گرما تبدیل می‌شود ؟

گرما و حرکت مولکولی

می‌دانید که ماده از مولکولها ساخته‌شده است. این‌مولکولها دائماً درحرکتند و حرکت آنها بستگی به حالت ماده دارد .

پرسش ۱-۲ - با توجه به‌آنچه‌در سال گذشته دربخش‌نیرو دیدید بگوییدحرکت مولکولهادرجامدات و مایعات وگازها چگونه صورت می‌گیرد ؟

یکی از اثرهای گرما بر روی ماده این است که حرکت‌مولکولهای‌آن‌را سریعتر می‌کند، بنابراین مولکولها از یکدیگر بیشتر فاصله می‌گیرند . درنتیجه حجم جسمی که ازاین مولکولها تشکیل‌یافته است افزایش می‌یابد زیرا نیروهای پیوستگی که‌بین

مولکولها موجود است دیگر نمی‌توانند مولکولهایی را که به سرعت حرکت می‌کنند مانند حالتی که به آرامی در مجاور یکدیگر حرکت می‌نمایند نزدیك به هم نگه‌دارند.

اگر گرما سبب شود که مولکولهای یك جسم تندتر حرکت کنند عکس این حالت نیز باید درست باشد. یعنی اگر به‌وسیله‌ای دیگر، حرکت مولکولهای جسمی تندتر گردد آن جسم باید گرم شود. مشاهدات و آزمایشهای زیادی این مطلب را تأیید می‌کنند. مثلا اگر میخی را روی سندان بگذاریم و چندبار آن را با چکش بکوبیم ضربه‌های چکش سبب می‌شود که مولکولهای میخ تندتر حرکت کنند و بیشتر مرتعش شوند و در نتیجه میخ گرم شود.

پرسش ۱-۳ ـ علت گرم شدن گاز هنگامی که متراکم می‌شود چیست؟

گرما و انرژی درونی ماده

مولکولهای اجسام چون حرکت می‌کنند دارای انرژی جنبشی هستند و چون بین آنها نیروهای پیوستگی وجود دارد به‌سبب وضع یا حالتی که نسبت به یکدیگر دارند دارای انرژی پتانسیل نیز هستند (درست مانند انرژی پتانسیل جاذبه‌ای که قبلاً باآن آشناشده‌اید). هنگامی که جسمی را گرم می‌کنیم انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکولهای آن هردو افزایش می‌یابد.

مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی تمام مولکولهای یك ماده را «انرژی درونی» آن ماده می‌نامند.

بنابراین اگر جسمی از اجسام دیگر گرما بگیرد انرژی درونی آن افزایش می‌یابد و اگر به اجسام‌دیگر گرما بدهد انرژی‌درونی آن کاهش‌می‌یابد.

دما و دماسنجی

اثر معمولی انرژی گرمایی بر روی اجسام‌این است که آنها را گرم می‌کند. به عبارت دیگر درجهٔ گرمی آنها را بالا می‌برد.

پرسش ۱-۴ ـ اگرمخلوط آب و یخ را گرما بدهیم تا وقتی که یخ در آب موجود است درجهٔ گرمی مخلوط بالا نمی‌رود. پس‌انرژی گرمایی چه می‌شود؟

درجهٔ گرمی هر جسم را دمای آن جسم نیز می‌گوییم. نباید دما یا درجهٔ گرمی را با گرما که شکلی‌از انرژی است‌اشتباه‌کرد. مثلایك کتری‌بزرگ پراز آب جوش و یك فنجان پر از آب جوش هر دو به یك درجه گرم هستند به عبارت دیگر دمای هردو یکی است ولی اندازهٔ انرژی گرمایی که در آب جوش درون کتری است‌خیلی بیشتر از اندازهٔ انرژی گرمایی آب جوش درون فنجان است. در این مثال انرژی متوسط مولکول‌آب در هردو ظرف یکی است ولی شمارهٔ مولکولهای موجود در آب درون کتری بیشتر ازشمارهٔ مولکولهای موجود درآب درون‌فنجان است. اگر دو جسم دمای یکسان داشته باشند و باهم تماس داده شوند هیچ‌کدام به هم گرما نمی‌دهند واگر دو جسم که دمایشان یکی نیست باهم تماس داده شوند گرما از جسم گرمتر که دمایش بیشتر است به جسم سردتر که دمایش کمتراست می‌رود. در انتقال گرما، لازم نیست که جسم گرمتر انرژی گرمایی بیشتری از جسم‌سردتر داشته باشد. مثلا اگر میلهٔ داغ‌آهنی

را در دریا فرو بریم گرما از میلهٔ داغ به دریا انتقال می‌یابد، در صورتی‌که دریا بسیار بسیار بیشتر ازمیلهٔ آهنی انرژی گرمایی دارد .

ما به کمك حس‌لامسهٔ خود می‌توانیم تااندازه‌ای یك جسم گرم را از جسم سرد تشخیص دهیم ولی این احساس دقت چندانی نداردو ممکن است اشتباه‌بکنیم. یك آزمایش ساده این مطلب را نشان می‌دهد :

سه ظرف فراهم آورید، در یکی آب یخ و در دیگری آب معمولی و در سومی آب گرم بریزید و دست راست خود را در آب یخ و دست چپ خود رادر آب‌گرم به مدت‌یك یا دو دقیقه (بسته به طاقت خود) نگه دارید سپس هر دو دست را از آب سرد و گرم بیرون بیاورید و آنها را در آب معمولی فرو برید . آب معمولی را با دست راست خود گرم وبا دست‌چپ سرد حس می کنید .

در اینجا ، احساس گرمی یا سردی نه تنها به دمای آب بستگی دارد بلکه به سوی انتقال گرما نیز بستگی دارد . دست چپ ، که در آب گرم قرار داده‌اید دارای دمایی بیشتر از دمای آب معمولی شده است، گرماازاین‌دست به آب معمولی‌منتقل می‌شود . به عبارت‌دیگر ، این دست گرما به آب می‌دهد و بههمین جهت حس می کنیدکه سرد می‌شود . بر عکس، دست راست‌شمادرآب‌یخ بوده‌است که‌دمای آن کمتر ازدمای آب معمولی است. در نتیجه گرما از آب معمولی به‌دست منتقل می گردد و حس می‌کنید که گرم می‌شود.

پرسش ۱-۵ ـ در اتاقی دومیز، یکی ازآهن و دیگری از چوب موجود است و دمای هر دویکسان و با دمای هوای اتاق برابر است ولی هنگامی که‌آنها را بادست لمس‌می‌کنید میز آهنی سردتر از میزچوبی حس می‌شود . آیا می‌توانید علت آن را بیان کنید ؟

به‌طور کلی ، یك جسم به هنگام تماس با دست در صورتی گرم به‌نظر می‌رسد که دمای آن بیشتراز دمای دست باشد و گرما از آن جسم بـه دست انتقال یابد و در صورتی سرد به نظر می‌رسد که دمای آن کمتر از دمای دست باشد و گرما از دست به آن منتقل شود .

درآزمایش‌بالا ، اگر دو دست خودرا مدتی درظرف محتوی آب معمولی نگهدارید آن احساس متفاوت از بین می‌رود ، یعنی پس از گذشت مدتی هر دو دست یك‌نوع احساس را خواهند داشت که مربوط به‌دمای آب درون این ظرف است.

در واقع دستهای شماپس ازفرو بردن درآب گرم و سرد دارای دماهای مختلف می‌شوند که هم بایکدیگر وهم بادمای‌آب ظرف سوم (آب معمولی) تفاوت دارند.

پس از فرو بردن دو دست در آب ظـرف سوم مدتی باید بگذرد تادمای هریك ازدستهای شما برابر دمای آب این‌ظرف شود و بعداز گذشت این مدت ، دستها یك دما راپیدا خواهند کرد، احساس شما نیز یکسان خواهد بود.

در این صورت می گوئیم در این مجموعـه و دست راست و دست چپ و آب ، تعادل گرمائی برقرار شده است.

از این آزمایش ساده چنین استنباط می‌شود که دما کمیتی است مشخص کننده حالت تعـادل گرمائی . اجسام درحالت تعادل گرمائی دارای یك دما (یعنی یك‌درجه‌گرمی) هستند. برعکس ، اجسامی که‌دارای یك دماباشند درتعادل گرمائی بایکدیگرند. واگر دوجسم درتعادل گرمائی باجسم سومی باشندآن دوجسم بایکدیگر نیز در تعادل گرمائی هستند .

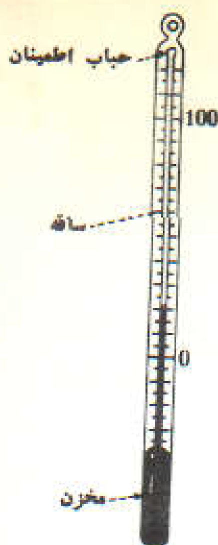
این موضوع یکی از قانونهای مهم و اساسی طبیعت است که اندازه‌گیری دما تاحد زیادی بر آن پایه‌گذاری شده است.

می‌دانیم خواص فیزیکی یك‌جسم (مانند حجم یك مایع، فشار یك گاز با حجم ثابت، مقاومت الکتریکی یك سیم و ....) دراثر تغییر دما تغییر می‌کند. این تغییرات اساس روشهای اندازه گیری دما را تشکیل می‌دهند و آنچه که اندازه گرفته می‌شود عبارتست از کمیاتی که مشخص کننده تغییرات این خواصند. بنابراین برای ساختن اسبابی که دما را اندازه می‌گیرد، یعنی دماسنج ماده‌ای مناسب و کمیتی مناسب که معرف خاصیتی از این ماده است انتخاب می‌شود.

دماسنجها

دماسنجها اسبابهایی هستند که به تغییرات دما حساس می‌باشند و برای سنجش دما به کار می‌روند. دماسنجها اقسام مختلف دارند و پاره‌ای از آنها بر اساس تغییر حجم مایعات در اثر گرما درست شده‌اند.

خیلی از مردم با دماسنجهای جیوه‌ای یا الکلی آشنایی دارند. دماسنج جیوه‌ای از یك لولهٔ خیلی باریك درست می‌شود که یك سر آن بسته و سر دیگرش به مخزن کروی پر از جیوه منتهی می‌شود و درون لوله از هوا تهی است. این دماسنج معمولا روی صفحهٔ چوبی یا فلزی مدرجی نصب می‌گردد. مخزن دماسنجهای آزمایشگاه را استوانه‌ای شکل می‌سازند تا به آسانی از سوراخ چوب پنبه بگذرد و درجه‌بندی آنها روی بدنهٔ لولهٔ دماسنج صورت می‌گیرد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- دماسنج جیوه‌ای.

طرز کار این دماسنجها بر خاصیت انبساط و انقباض ظاهری جیوه در اثر تغییر دمای محیط است: وقتی که دما بالا می‌رود مخزن شیشه‌ای و جیوهٔ درون آن هر دو منبسط می‌شوند ولی چون جیوه بیشتر از شیشه انبساط می‌یابد در لوله بالا می‌رود و مقابل درجه‌ای می‌ایستد که این درجه معرف دمای محیط است. هنگامی که دما پایین می‌آید مخزن و جیوهٔ آن منقبض می‌شوند ولی چون جیوه بیشتر از شیشه منقبض می‌شود در لوله پایین می‌آید و دمای جدید را نشان می‌دهد.

مدرج کردن دماسنجها ـ نقاط ثابت دماسنجی

برای مدرج کردن دماسنجهای معمولی، لازم است دو دمای ثابت استاندارد که دستیابی به آنها آسان باشد انتخاب کرد و این دماها را روی لولهٔ دماسنج علامت گذارد و بین علامتها را به درجه‌های مساوی تقسیم نمود.

این دو دمای ثابت را نقاط ثابت بالایی و پایینی دماسنجی نامند. آزمایش نشان می‌دهد که دماهای جوش آب و ذوب یخ در فشار ثابت همواره

ثابت است . بنابراین نقطهٔ ثابت بالایی را دمای بخار آب‌جوش انتخاب کرده‌اند که درفشار استانداردا تمسفر (یعنی فشار ۷۶۰ میلیمتر جیوه) در حال جوشیدن باشد . زیرا دمای بخار در بالای سطح آب و نزدیک به‌آن همواره ثابت می‌ماند و فقط بستگی به فشاردارد.

پرسش ۱-۶ – دمای جوش آب مستقیماً برای تعیین نقطهٔ ثابت دماسنجی به‌کار نمی‌رود . علت آن به‌نظر شما چیست ؟

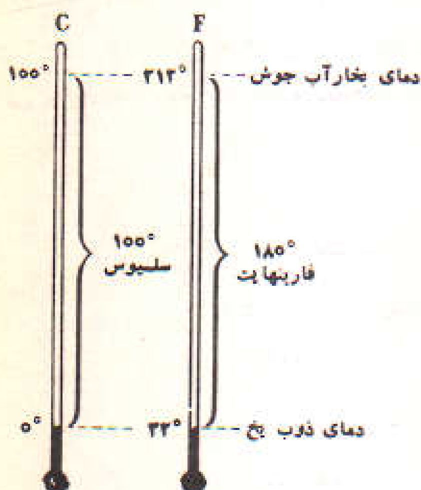
نقطهٔ ثابت پایینی را دمای ذوب یخ خالص در فشاراستاندارد اتمسفر انتخاب کرده‌اند. یخ بایدخالص باشد زیرا ناخالصی دمای ذوب آن را پایین‌می‌آورد .

بنا به قرارداد ، نقطهٔ ثابت بالایی به ۱۰۰ و نقطهٔ ثابت پایینی به صفر نمایش داده شده و بین صفر و ۱۰۰ به صد قسمت مساوی تقسیم گردیده‌است.

پرسش ۱-۷ – بالای صد و زیرصفر راچگونه درجه‌بندی می‌کنند؟

این درجه‌بندی نخستین بار به‌وسیلهٔ سلسیوس[1] فیزیکدان‌سوئدی به‌سال ۱۷۴۱ میلادی وضع‌شده‌است. به‌همین جهت آن‌را درجه بندی سلسیوس می‌نامندوهر درجهٔ آن‌رانیز یک‌درجهٔ سلسیوس‌یایک درجهٔ‌سانتیگراد می‌گویند وبه علامت اختصاری «C°» نمایش‌می‌دهند. مثلا ۲۰ درجهٔ سلسیوس را چنین نمایش می‌دهند : ۲۰°C.

درجه‌بندی‌دیگری‌به وسیلهٔ فارینهایت[2] دانشمند آلمانی در سال ۱۷۲۴ میلادی وضع شده که در آن یخ و بخار آب را برای تعیین نقاط ثابت دماسنجی به‌کار نبرده است بلکه دمای مخلوطی از یخ ونشادر (پائین‌ترین دمائی که در آن زمان‌توانسته است‌ایجاد کند) و دمای بدن انسان را ملاک درجه بندی قرار داده و اولی را به صفر و دومی را به ۹۶ نشان‌داده است[3]. اکنون در این دماسنج نقطهٔ ذوب یخ به ۳۲ و نقطهٔ جوش‌آب به ۲۱۲ نشان داده می‌شود (شکل ۱-۲) وفاصلهٔ بین این دونقطه در روی دماسنج به ۱۸۰ قسمت تقسیم می‌گردد. درجه‌بندی فارنهایت در فیزیک بکار نمی‌رود و درعمل هم به تدریج کنار گذارده می‌شود.



شکل ۱-۲- مقایسهٔ درجه‌بندی سلسیوس وفارینهایت.

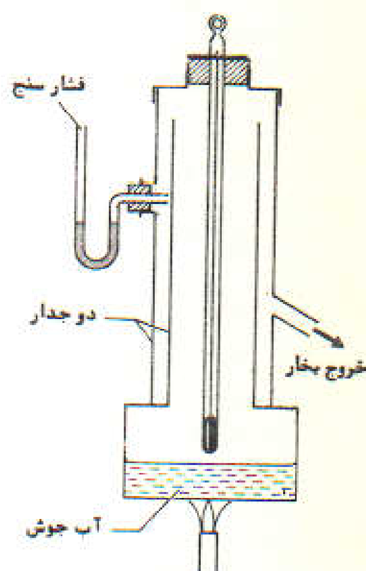
تعیین نقطه ثابت بالائی (نقطه ۱۰۰)

برای مدرج کردن دماسنج جیوه‌ای نخست آن

1– Celcius　　2– Fahrenheit

۳ – دمای طبیعی بدن در این درجه‌بندی به طور دقیق ۹۸/۶ درجه است.

را درون ظـرف دوجدارهٔ ویژه‌ای به نام هیپسومتر[1] (شکل ۱ـ۳) قرار می‌دهند. آب در مخزنی که پایین ظرف است درفشار استاندارد (۷۶۰ میلیمتر جیوه) می‌جوشد ومخزن جیوه دماسنج درنزدیکی سطح آب قرارمی گیرد بطوری که اطراف آن رابخار آب‌جوش در فشار اتمسفر فرا گیرد. بـه دلایلی که در پـاسخ به‌پرسش ۱ـ۶ بیان شده است، مخزن جیوه دماسنج نباید در آب جوش درون این ظرف غوطه ور شود. دماسنج که ازسوراخ وسط چوب پنبهٔ بالای هیپسومتر گذشته ودرمیان این دستگاه معلق است، طوری قرار داده می‌شود که سطح جیوه درلولهٔ آن درنزدیکی سطح بالایی چـوب پنبه واقع شود. پس از آنکه تعادل گرمایی برقرارشد وسطح آزاد جیوه بـه‌مدت چندین دقیقه ثابت ماند وضع آن را روی لوله دماسنج باخط باریکی نشان می‌کنند. جداردوگانه ظرف برای این است که از افت انرژی گرمایی ودرنتیجه از سردشدن بخار اطراف دماسنج جلوگیری شود. فشارسنجی که درشکل دیده می‌شود اختلاف فشار درون ظرف را از فشار هوای بیرون آن نشان می‌دهد. اگر در موقـع تعیین نقطهٔ ۱۰۰، فشار درون ظـرف بیش از ۷۶۰ میلیمترجیوه باشد نقطه جوش واقعی آب درفشار درون ظرف بایداز روی جدولی که تغییرات نقطه جوش آب را برحسب فشار می‌دهد معین شود، سپس جایی کـه جیوه درفشار ۷۶۰ میلیمتر درون لولهٔ دماسنج خواهد ایستاد بادقت نشان شود. این نشانه درجهٔ ۱۰۰ دماسنج در درجه‌بندی سلسیوس خواهد بود.



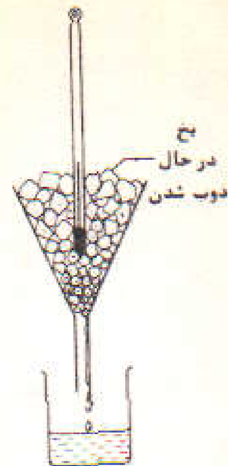
شکل ۱ـ۳ـ هیپسومتر برای تعیین نقطه ۱۰۰ دماسنج

تعیین نقطه ثابت پایینی (نقطه صفر)

پس از تعیین نقطه بـالایی، مخزن دماسنج را درون یخ خالص خرد شده که درظـرف قیف مانندی ریخته شده و درحال ذوب شدن است قرار می‌دهند. (شکل ۱ـ۲). جیوه در لولهٔ دماسنج پائین می‌آید تا این که سطح آن در نقطه‌ای ثابت بماند. باید دقت کرد که سطح جیوه درنزدیکی سطح یخ درون ظرف قرار گیردتادمای‌محیط خارج برروی‌جیوهٔدرون‌لوله‌اثری نداشته باشد. وقتی که سطح جیوه درلوله دمـاسنج ثابت ماند به‌عبارت دیگروقتی تعادل گرمایی به‌خوبی برقرارشد وضع سطح آزاد جیوه را روی لوله با یك خط باریك دیگرنشان می‌کنند، این خط نمایش صفر

[1] _ Hypsometer

دماسنج در درجه‌بندی سلسیوس خواهد بود .



شکل ۱-۴- طرز تعیین نقطه صفر دماسنج

صفر مطلق ـ درجه‌بندی مطلق

پایین‌ترین حد دما $-۲۷۳/۱۵^\circ C$ است که « صفر مطلق » نامیده میشود . در این دما انرژی درونی ماده برخلاف تصور صفر نیست ، بلکه به‌کمترین مقدار خود می‌رسد.

صفر مطلق مبنای درجه‌بندی دیگری است که به‌آن درجه‌بندی مطلق یا درجه‌بندی کلوین (به‌نام لرد کلوین[1] فیزیکدان انگلیسی) گویند . یك درجهٔ کلوین معادل یك‌درجهٔ سلسیوس است و درجهٔ کلوین به‌علامت اختصاری « K » نمایش داده می‌شود.

بین درجات کلوین و درجات سلسیوس رابطهٔ زیر برقرار است :

$$T = ۲۷۳/۱۵ + \theta \quad (۱-۱)$$

که در آن حرف T نمایش درجهٔ کلوین وحرف یونانی θ (تتا) نمایش‌درجهٔ سلسیوس‌است . مثلا $۰^\circ C$ تقریباً برابر $۲۷۳K = ۰ + ۲۷۳$ است و$۱۰۰^\circ C$ تقریباً معادل $۳۷۳\ K = ۱۰۰ + ۲۷۳$ است.

پرسش ۱-۸ ـ دمای‌طبیعی‌بدن که $۳۷^\circ C$ است چند درجهٔ کلوین است ؟

درجه‌بندی کلوین این برتری را بردرجه‌بندی سلسیوس‌داردکه تمام‌دماها چه پایین وچه بالا باعلامت مثبت نمایش داده می‌شوند.

دامنهٔ کاربرد دماسنجها

دامنهٔ کاربرد دماسنجهای جیوه‌ای و الکلی بستگی به‌دماهای انجماد و جوش جیوه و الکل‌دارد. جیوه در فشار یك اتمسفر (۷۶۰ میلیمتر جیوه) در $-۳۹^\circ C$ منجمد می‌شود و در دمای $۳۵۷^\circ C$ بجوش می‌آید . بنابراین دماسنج جیوه‌ای را فقط می‌توان برای سنجش دماهای واقع بین این دو دما به‌کاربرد.

الکل در $-۱۱۵^\circ C$ منجمد می‌شود و در$۷۸^\circ C$ می‌جوشد. بدیهی است دامنهٔ‌کاربرد دماسنجهای‌الکلی نیز به‌این دودما محدود می‌شود .

پرسش ۱-۹- درنقاط نزدیك به‌قطب،مانندشمال کاناداوشمال‌روسیه، که‌درزمستان‌دمای‌هوا از$-۴۰^\circ C$ پایین‌تر می‌رود چه نوع دماسنجی برای سنجش دمای هوا مناسب‌تر است ؟

برای سنجش دماهای پایین‌تر از نقطهٔ انجماد الکل تا $-۲۰۰^\circ C$ از مایع پنتان به جای الکل در دماسنج استفاده می‌شود .

1- Lord Kelvin

پرسش ۱-۱۰ – آیا می‌توان آب را به عنوان مایع دماسنجی به‌کار برد؟

پاره‌ای از دماسنجها بسته به کاربردشان دامنهٔ عمل بسیار محدودی دارند. مثلاً دماسنج پزشکی که برای اندازه گیری دمای بدن ساخته شده است فقط برای چند درجه بالاتر و پایین‌تر از دمای طبیعی بدن که به طور متوسط ۳۷°C است مدرج شده است (از ۳۵°C تا ۴۲°C، شکل ۱-۵).

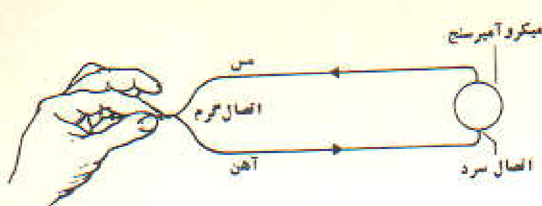


شکل ۱-۵- دماسنج پزشکی.

این دماسنج معمولاً به مدت ۲ دقیقه زیر زبان مریض گذارده می‌شود تا اطمینان حاصل شود که دمای بدن را کاملاً درست نشان می‌دهد. وقتی که دماسنج از دهان مریض خارج می‌شود جیوهٔ درون مخزن آن به سرعت منقبض می‌شود ولی جیوهٔ درون لوله به علت خمیدگی باریکی که بالای مخزن وجود دارد خود به خود به مخزن برنمی گردد و امکان می‌دهد که دما با فرصت خوانده شود. پیش از آن که دماسنج دوباره به کار رود باید آن را تکان دهند تا جیوهٔ درون لوله به مخزن دماسنج برگردد.

در پاره‌ای از صنایع برای سنجش دما، دماسنجهای ترموالکتریکی به کار برده می‌شوند. ساختمان این دماسنجها براساس تولید جریان الکتریسیته در اثر گرم شدن محل اتصال دو فلز مختلف است. با یك آزمایش ساده می‌توانید این پدیده را نشان دهید:

یك سر دو سیم آهنی و مسی را بهم بتابید و دو سر آزاد آنها را به دو محل اتصال یك میکروآمپرسنج یا یك میلی آمپرسنج حساس وصل کنید (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶- پدیدهٔ ترموالکتریك

هرگاه محل اتصال دو سیم را گرم کنید در مدار جریان الکتریسیته به وجود می‌آید و عقربهٔ میکرو آمپرسنج منحرف می‌شود. این پدیده را ترموالکتریك می‌گویند. شدت جریان در مدار بستگی به اختلاف دماهای بین محل اتصال دو سیم به یکدیگر و محل اتصال سیمها به میکروآمپرسنج دارد و می‌توان میکروآمپرسنج را برحسب این اختلاف دما مدرج کرد.

برای اندازه گیری دماهای خیلی پایین و خیلی بالا روشهای فیزیکی دیگری مانند تغییر فشار گازها با دما یا تغییر میزان انرژی تابشی اجسام در اثر تغییر دما و . . . به کار برده می‌شوند که در سالهای بعد آنها را خواهید آموخت.

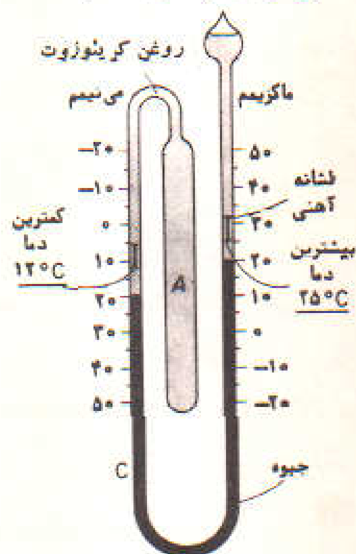
پایین‌ترین دمای ممکن به طوری که دیدید صفر مطلق (۲۷۳°C −) است. بالاترین دما حد مشخصی ندارد: دمای کوره‌های الکتریکی را ممکن است به حدود ۳۰۰۰°C رسانید. دمای سطح خورشید در حدود ۶۰۰۰°C و دمای مرکز آن در حدود ۲۰ میلیون درجهٔ سلسیوس تخمین زده می‌شود.

دماسنج ماکزیمم و می‌نیمم

این دماسنج را معمولا باغداران در محل پرورش گلها و نهالها به‌کار می‌برند. ممکن است در پستهای

هواشناسی نیزمورد استفاده قرار گیرد. هدف ازکاربرد آن این است که ماکزیمم ومی‌نیمم دما را در شبانه روز معین کنند . بـه طور کلی دمای محیط در شب به می‌نیمم ودر روز بماکزیمم می‌رسد .

این دماسنج دارای یك مخزن استوانه‌ای شکل A است که پرازالکل یاغالباً پراز روغن کریئوزوت[1] می‌باشد . این مخزن به‌لوله باریك U مانندی متصل است که محتوی جیوه بوده و به‌حباب کوچکی که‌آن هم محتوی الکل یا روغن کریئوزوت است ولی کاملا پر نیست منتهی می‌شود (شکل ۱ـ۷) . دو درجه‌بندی



شکل ۱ـ۷ـ دماسنج ماکزیمم و می‌نیمم

جداگانه یکسان دردوشاخه‌لوله U وجود دارد به‌طوری که می‌توان دما را روی هریك‌ازاین درجه‌بندیهامقابل سطح جیوه خواند . دو نشانه فولادی کوچك بالای سطح جیوه دردوشاخه لوله دماسنج درون الکل قرار داده شده است کـه با اصطکاك ملایمی می‌توانند در لوله بلغزند . انبساط یا انقباض مـایع در مخزن A سبب حرکت ستون جیوه درون‌لوله می گردد، درنتیجه یکی ازاین نشانه‌ها به‌وسیله جیوه به‌جلورانده می‌شود و به‌وضع نهائی خود که می‌رسددرآن جا متوقف‌می‌ماند بنابراین سر پایینی نشانـه سمت چپ ، می‌نیمم وسر پایینی نشانه سمت راست ماکزیمم دمارانشان‌می‌دهد.

گرماسنجی و واحدهای گرما

گفتیم گرماصورتی از انـرژی است که بر اثر اختلاف دما از جایی‌که دمایش بیشتر است به‌جایی‌که دمایش کمتراست انتقال می‌یـابد. و مانند انرژیهای دیگر با واحد ژول سنجیده می‌شود.

دانش‌اندازه گیری و سنجش گرما راگرماسنجی یا کالریمتری گفته‌اند و برای سنجش گرما واحدهایی به‌کار برده‌اند که اکنون آنها را در فیزیك به کار نمی‌برند . ولی لازم است در اینجا از دو واحدمهمتر که کاربـرد عمومی دارند نـام ببریم تا نقشی که در سنجش واندازه گیری گرما داشته‌اند نشان داده شود. این دو واحد عبارتند از کالری (با علامت اختصاری cal) و کیلوکالری (kcal) .

کالری بنا به تعریف مقدار گرمایی است که لازم است تا دمای یك گرم آب‌را ۱°C بالاببرد.

کیلوکالری مقدار گرمایی است که لازم است تا دمای یك کیلوگرم آب را ۱°C بالا ببرد. بدیهی است: $1\,kcal = 10^3\,cal$

کیلوکالری بیشتر برای سنجش میزان انرژی گرمایی‌غذاها به‌کاررفته‌است.

1 ـ Creosote

یک کالری تقریباً معادل ۴٫۲ ژول و یک کیلو کالری تقریباً معادل ۴۲۰۰ ژول است.

ظرفیت گرمایی

می‌دانید اثر معمولی گرما بر اجسام این است که دمای آنها را بالا می‌برد ولی افزایش دمای اجسام در اثر گرما بستگی به جرم و جنس آنها دارد. یک آزمایش ساده این مطلب را نشان می‌دهد و شکل ۱ـ۸ آن را مجسم می‌کند:

سه ظرف یکسان انتخاب کنید، در یکی ۰٫۲۰۰ کیلوگرم آب و در دیگری ۰٫۴۰۰ کیلوگرم آب و در سومی ۰٫۴۰۰ کیلوگرم نفت که دمای آنها یکسان و مثلاً ۲۰°C است بریزید. آنها را به‌ترتیب روی شعلهٔ یکنواخت و ملایمی بگذارید و بهم بزنید و بالا رفتن دما را با دماسنج نشان کنید.

اگر دمای ۰٫۲۰۰ کیلوگرم آب مثلاً درمدت ۳ دقیقه به اندازهٔ ۱۰°C بالا رود و به ۳۰°C برسد مدت ۶ دقیقه لازم‌است تا دمای ۰٫۴۰۰ کیلوگرم آب به ۳۰° برسد و در حدود ۴ دقیقه لازم است تا دمای ۰٫۴۰۰ کیلوگرم نفت به ۳۰° برسد.

ظرفیت گرمایی یک جسم، از هر جنس که باشد، چنین تعریف می‌شود:

اندازهٔ گرمایی که لازم است تا دمای جسم را ۱°C بالا برد.

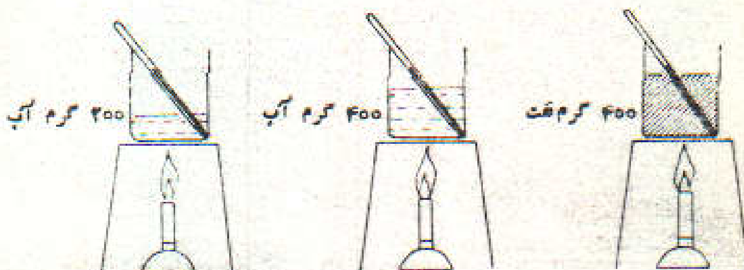
واحد ظرفیت گرمایی در دستگاه بین‌المللی واحدها ژول/درجهٔ سلسیوس (J/°C) است. واحدی که در سابق برای اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی به کار می‌رفت cal/°C یا kcal/°C بود.

ظرفیت گرمایی ویژه

وقتی که ظرفیت گرمایی مواد مختلف را با هم مقایسه می‌کنیم گفتگو از ظرفیت گرمایی ویژه به میان می‌آوریم:

ظرفیت گرمایی ویژهٔ یک ماده بنا به تعریف اندازهٔ گرمایی است که لازم است تا دمای واحد جرم آن ماده را ۱°C بالا برد. ظرفیت گرمایی ویژه با علامت اختصاری c نمایش داده می‌شود، و واحد آن در دستگاه بین‌المللی واحدها ژول/کیلوگرم.درجهٔ سلسیوس (J/kg °C) است.

واحد گرمایی که در سابق به کار می‌رفت



شکل ۱ـ۸ افزایش دما بستگی به جرم و جنس جسمی که گرم می‌شود دارد

cal/g°C یا kcal/kg°C بود .

در جدول ۱ــ۱ ظرفیت گرمایی ویژهٔ چندجسم داده شده است .

ظرفیت گرمایی ویژهٔ آب خیلی بیشتر ازظرفیت گرمایی ویژهٔ اغلب اجسام است . این خاصیت سبب می‌شود که هوای مناطق مجاور دریاها و دریاچه‌ها درتابستان خنک‌تر ودرزمستان گرمتر از هوای مکانهای هم عرض و هم‌ارتفاع دیگر باشند ، زیرا ، ظرفیت گرمایی ویژهٔ آب خیلی بیشتر از ظرفیت گرمایی ویژهٔ هوا وخاك است . درنتیجه ، دریاها و دریاچه‌ها مخزن ذخیرهٔ گرمابرای مناطق اطراف خود می‌باشند. در تابستان که دمای محیط افزایش می‌یابد دریاچه و دریا خیلی بیشتر از هوا یا خاك اطراف خود گرما جذب می کند و بنابر این مناطق اطراف آن خنك می‌شوند . در زمستان که هوای محیط رو به سردی می‌رود دریاچه یا دریا گرمایی را که ذخیره کرده است ، بەمحیط اطراف خود پس می‌دهد و آن را گرم نگه می‌دارد. ظرفیت گرمایی ویژه دردماهای مختلف متفاوت می‌باشد، به‌این دلیل در محاسبات از ظرفیت گرمایی ویژه متوسط استفاده می‌شود.

پرسش۱ ــ ۱۱ ــ درتابستان درساحل دریاهنگام روز، معمولاً باد از دریا بەخشکی و هنگام شب از خشکی به دریا می‌وزد . آیا می‌توانید علت آن را توضیح دهید ؟

برآورد اندازهٔ گرما

اگریك قطعه آهن به جرم ۰٫۰۵۰ کیلوگرم و بەظرفیت‌گرمایی ویژهٔ 460J/kg°C از 80°C تا 20°C سرد شود چند ژول گرما از دست می‌دهد؟

این که می گوییم ظرفیت گرمایی ویژهٔ آهن 460J/kg °C است بدین معنی است که یك‌کیلوگرم آهن ۴۶۰ ژول انرژی گرمایی می‌دهد یا می گیرد

جدول ۱ــ۱ــ ظرفیت گرمایی ویژهٔ متوسط چندجسم برحسب J/kg°C

مایعات		جامدات	
آب خالص	۴۲۰۰	آلومینیم	۹۰۰
آب دریا	۳۹۰۰	آهن	۴۶۰
الکل چوب	۲۴۰۰	برنج (آلیاژمس‌وروی)	۳۸۰
جیوه	۱۴۰	روی	۳۸۰
نفت	۲۴۰۰	سرب	۱۳۰
		شیشهٔمعمولی	۶۷۰
		مس	۴۰۰
		یخ	۲۱۰۰

تا دمایش $1^\circ C$ تغییر کند. بنابراین، ۰٫۰۵۰ کیلو گرم آهن برای این‌که یک درجه سرد شود به‌اندازهٔ $460J \times 0{,}050$ گرما بیرون می‌دهد. بدیهی‌است ۰٫۰۵۰ کیلو گرم آهن برای این‌که دمایش از $80^\circ C$ به $20^\circ C$ برسد به اندازهٔ $0{,}050 \times 460(80-20) = 1380J$ گرما از دست می‌دهد.

رابطهٔ بالا را به‌صورت کلمات می‌نویسیم:

= انرژی گرمایی داده‌شده یا گرفته‌شده

تغییر دما × ظرفیت گرمایی‌ویژه × جرم

واگر علامتهای اختصاری این کمیتهارا به کار بریم خواهیم داشت:

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) \qquad (1-2)$$

$Q =$ انرژی گرمایی داده‌شده یا گرفته‌شده به‌ژول

$m =$ جرم به کیلو گرم

$\theta_2 =$ دمای بالاتر به $^\circ C$

$\theta_1 =$ دمای پایین‌تر به $^\circ C$

$\theta_2 - \theta_1 =$ تغییر دما

چند مثال دیگر:

۱ـ ۱۰۰ گرم آب $70^\circ C$ را با ۲۰۰ گرم آب $10^\circ C$ در ظرفی مخلوط کرده و به‌هم می‌زنیم. اگر گرمایی که ظرف می‌گیرد یا به هدر می‌رود ناچیز فرض شود دمای نهایی تعادل مخلوط چیست؟

گرمایی که‌ظرف می‌گیرد یا به‌هدر می‌رودناچیز فرض شده‌است. بنابراین:

گرمایی که آب‌سرد می‌گیرد برابر است با گرمایی که آب گرم ازدست می‌دهد.

درجدول ۱ـ۱ ظرفیت گرمایی‌ویژهٔ آب ۴۲۰۰ $\frac{\text{ژول}}{\text{کیلوگرم . درجه سلسیوس}}$ داده‌شده‌است. اگر دمای نهایی مخلوط θ باشد:

تغییر دمای آب گرم برابر است با $70 - \theta$

تغییر دمای آب سرد برابر است با $\theta - 10$

با استفاده از رابطهٔ $Q = mc(\theta_2 - \theta_1)$ خواهیم داشت:

$$0/1 \times 4200(70-\theta) = 0/2 \times 4200(\theta - 10)$$

پس از حذف ۴۲۰۰ از دو طرف این معادله نتیجه می‌شود:

$$7 - 0/1\theta = 0/2\theta - 2$$

یا

$$9 = 0/3\theta$$

و دمای نهایی مخلوط $\theta = 30^\circ C$ خواهد بود.

۲ـ یک قطعه مس به جرم ۲۵۰ گرم و به‌دمای $100^\circ C$ دریک ظرف آلومینیمی به‌جرم ۱۰ گرم که محتوی ۱۲۰ گرم الکل چوب به دمای $10^\circ C$ است انداخته‌می‌شود. دمای نهایی‌تعادل پس از آن که‌الکل خوب به هم زده شد چیست؟ گرمایی که همزن می‌گیرد یا به‌هدر می‌رود ناچیز فرض می‌شود.

دراینجا مس‌گرما می‌دهد و الکل وظرف گرما می‌گیرند.

اگر دمای نهایی تعادل θ فرض شود بامراجعه به جدول ۱ـ۱ خواهیم داشت:

گرمایی که قطعه مس ازدست می‌دهد تادمایش‌از 100° به θ برسد برابراست با:

$$0/250 \times 400(100-\theta) = 100(100-\theta)$$

گرمایی که ظرف آلومینیمی می گیرد تادمایش‌از 10° به θ برسد برابراست با:

$$0/010 \times 900(\theta - 10) = 9(\theta - 10)$$

گرمایی که الکل می گیرد تادمایش از 10° به θ برسد برابراست با:

$$0/120 \times 2400(\theta - 10) = 288(\theta - 10)$$

چون :

گرمایی که مس از دست می‌دهد =

گرمایی که الکل می گیرد + گرمایی که ظرف می گیرد

بنابراین :

$$100(100-\theta)=9(\theta-10)+288(\theta-10)$$

یا
$$10000-100\theta=297\theta-2970$$

یا
$$12970=397\theta$$

یا
$$\theta=\frac{12970}{397}=32/7°C$$

۳ـ یک قطعه فلز به جرم ۵۰۰ گرم را تا ۱۰۰°C گرم کرده و در ۲۰۰ گرم آب ۱۵°C می اندازند و آب را بهم می‌زنند. اگر دمای نهایی آب ۲۱°C و اتلاف گرما ناچیز باشد ظرفیت گرمایی ویژهٔ فلز چیست ؟

اگر ظرفیت گرمایی فلز c ژول بر کیلو گرم درجه باشد :

گرمایی که قطعه فلز از دست می‌دهد

$$=0/500\times c(100-21)=0/5\times c\times 79$$

گرمایی که آب می گیرد

$$=0/200\times 4200(21-15)$$
$$=0/2\times 4200\times 6=$$

بنابراین :

$$0/5\times c\times 79=0/2\times 4200\times 6$$

یا
$$39/5c=5040$$

$$c=\frac{5040}{39/5}=128\ J/kg\ °C$$

اثرهای گرما برماده

دانستید که گرما ضمن این که سرعت حرکت مولکولهای اجسام رازیادتر می کندفواصل بین مولکولها را نیز افزایش می‌دهد و در نتیجه اجسام (چه جامد و چه مایع یا گاز) منبسط می‌شوند.

می‌دانید که مولکولها یا اتمهای اجسام جامد، اغلب در شبکه‌های منظم بلوری ، نزدیك به هم قرار گرفته‌اند و بهشدت یکدیگر را جذب کرده‌اند و در اطراف وضع تعادل خود حرکت ارتعاشی دارند . در مایعات وبه ویژه در گازها حرکت مولکولها سریعتر ازجامدات است ونیروهای جاذبهٔ مولکولی به‌اندازه‌ای نیست که مولکولها رامانند حالت جامد در وضع ثابتی نسبت به‌یکدیگر نگه‌دارد وبه‌همین علت مایعات و گازها دراثر گرما بیشتر ازجامدات منبسط می‌شوند. هر گاه انرژی گرمایی که به جامد یا مایع داده می‌شود زیاد باشد به طوری که دمای آنها را خیلی بالا برد حرکت مولکولهای آنها آنقدر سریع می‌شود که دیگر نیروهای جاذبهٔ مولکولی نمی توانند مولکولها را مجاور هم نگه دارند . در این‌صورت جامد به مایع و مایع به بخار تبدیل‌می‌شود و درپاره‌ای مواردجامد مستقیماً به بخار تبدیل می‌شود .

اثرهای انرژی گرمایی برماده را از دو نظر می‌توان مشاهده وبررسی کرد: یکی‌ازنظر آثارظاهری که با چشم دیده می‌شوند (پدیده‌های ماکروسکوپی) و دیگری از نظر تغییراتی که در وضع مولکولها و انرژی درونی ماده‌حاصل‌می گردد و با چشم‌مستقیماً دیده نمی‌شود (پدیده‌های میکروسکوپی) . اینك از نظر ماکروسکوپی به شرح چندانر می‌پردازیم.

۱ـ انبساط جامدات ـ به جز مواراستثنایی خیلی‌نادر اغلب جامدات دراثر گرما منبسط‌می‌شوند.

انبساط جامدات بسته به شکل آنها ممکن است طولی ، سطحی یا حجمی باشد .

الف ـ انبساط طولی جامدات ـ در صورتی که جسم جامد به شکل سیم یا میله و مانند اینها

باشد انبساط آن به شکل افزایش طول ظاهر می‌شود. دراین‌صورت انبساط جامد‌را انبساط‌طولی می‌گویند. برای مقایسهٔ میزان انبساط طولی اجسام جامد معمولا برای آنها ضریب انبساط طولی تعریف می‌کنند.

ضریب انبساط طولی یک‌جسم جامد چنین تعریف می‌شود:

اندازهٔ انبساط واحد طول جامد وقتی‌که دمای آن ۱°C افزایش یابد.

ضریب‌انبساط طولی جامدات خیلی کوچک‌بود حدود 10^{-5} (صدهزارم) است. مثلاً اگر دمای‌یک میلهٔ آهنی به طول یک متر از ۰°C به ۱۰۰°C برسد طول میله فقط ۱/۲ میلیمتر (۰/۰۰۱۲ متر) افزایش می‌یابد، بنابراین ضریب انبساط طولی متوسط آن ۰/۰۰۰,۰۱۲/°C (یعنی 1.2×10^{-5} بر درجه) است.

فرض کنید l_1 طول اولیهٔ یک میلهٔ فلزی و λ ضریب‌انبساط‌طولی آن باشد. اگر دمای میله را θ درجه بالا ببریم طول آن به‌اندازهٔ $l_1\lambda\theta$ افزایش می‌یابد.

طول جدید میله (l_2) برابر خواهد بود با:

افزایش طول + طول اولیه = طول جدید

یا $l_2 = l_1 + l_1\lambda\theta$

یا

$$l_2 = l_1(1+\lambda\theta)$$ (۳—۱)

مثال ـ طول یک میلهٔ آهنی در دمای ۲۵°C یک‌متر است. اگر دمای میله به ۴۰°C برسد طول جدید آن چه‌اندازه خواهد شد؟ ضریب انبساط‌طولی آهن $1.2\times10^{-5}/°C$ است.

طول اولیهٔ میله $l_1 = 1^m$

دمای اولیهٔ میله $\theta_1 = 25°C$

دمای آخری میله $\theta_2 = 40°C$

افزایش‌دما $\theta = \theta_2 - \theta_1 = 40 - 25 = 15°C$

$l_1\lambda\theta = 1^m \times 1.2 \times 10^{-5}/°C \times 15°C$

افزایش طول میله $= 1.8 \times 10^{-4}m$

$l_2 = l_1 + l_1\lambda\theta = 1m + 1.8\times10^{-4}m$

طول جدید میله $= 1.00018m$

ضریب انبساط طولی جامدات مقدار ثابتی نیست و یا دما تغییر می‌کند. درصورتی‌که افزایش دما خیلی زیادنباشدمی‌توان از تغییرات آن صرف‌نظر کرد.

درجدول ۱ـ۲ ضریب انبساط‌طولی متوسط چند جسم جامد برای مقایسه داده شده است.

پرسش ۱ـ۱۲ـ بامراجعه‌به‌جدول ۱ـ۲ بگویید علت این که درون پایه‌های بتونی فقط میله‌های آهنی قرار می‌دهند چیست؟

جدول ۱ـ۲ـ ضریب انبساط طولی متوسط چندجسم جامدبین ۰°C و ۱۰۰°C

جسم	ضریب انبساط طولی
آلومینیم	$2.6\times10^{-5}/°C$
انوار(آلیاژفولاد ونیکل)	0.1×10^{-5}
آهن	1.2×10^{-5}
بتون	1.1×10^{-5}
برنج	1.9×10^{-5}
روی	2.9×10^{-5}
سرب	2.7×10^{-5}
سیلیس (کوارتز)	0.042×10^{-5}
شیشهٔ‌معمولی	0.85×10^{-5}
مس	1.7×10^{-5}
نقره	1.8×10^{-5}

اختلاف انبساط دو فلز مختلف مانند مس (یا برنج) و آهن را می‌توان به‌وسیلهٔ دو تیغه یکی از مس و دیگری از آهن که در دمای معمولی همطول بوده و روی هم میخ‌پرچ شده‌اند (شکل ۱-۹) نشان داد. اگر دو تیغه با هم گرم شوند به‌علت اختلاف میزان انبساط، خمیدگی پیدا می‌کنند به‌طوری که تیغهٔ مسی که ضریب انبساط بزرگتری دارد قوس بیرونی و تیغهٔ آهن قوس درونی را تشکیل می‌دهد. دو تیغه را به جای میخ پرچ کردن می‌توان سرتاسر به‌هم جوش داد.

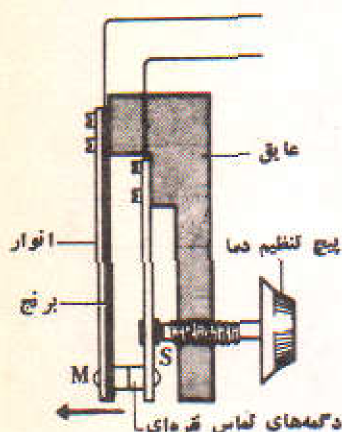




شکل ۱-۹ دو تیغهٔ فلزی مختلف میخ پرچ شده در اثر گرما خمیدگی پیدا می‌کنند

پرسش ۱-۱۳ - اگر دمای این دو تیغهٔ فلزی پایین‌تر از دمای معمولی برود وضع خمیدگی آن چگونه خواهد شد؟

«دو تیغهٔ فلزی» که در بالا شرح آن داده شد در صنعت زیاد به کار می‌رود و مهمتر از همه در ترموستای الکتریکی است که برای تنظیم و یکسان نگاه داشتن دما به‌کار می‌رود. شکل ۱-۱۰ اساس ساختمان ترموستایی را نشان می‌دهد که برای کنترل و تنظیم دمای اتوی الکتریکی یا آب گرمکن الکتریکی یا دمای اتاقی که به وسیلهٔ بخاری الکتریکی گرم می‌شود و مانند اینها به کار می‌رود. جریان الکتریکی که باید از دستگاه گرمکن بگذرد از این ترموستا نیز می‌گذرد. در محل قطع جریان، دو دگمهٔ تماس نقره‌ای است که یکی به «دو تیغهٔ فلزی» M و دیگری به تیغهٔ فلزی ثابت S متصل است. اگر دمای اتو یا آب گرمکن یا اتاقی که بخاری در آن قرار دارد از اندازهٔ معینی که پیش‌بینی شده‌است بالاتر برود دو تیغهٔ فلزی خمیدگی پیدا می‌کند و دو دگمهٔ تماس از هم جدا می‌شوند و جریان قطع می‌گردد. پس از پایین آمدن دما، دوباره دو تیغه به جای خود برمی‌گردد و جریان الکتریسیته برقرار می‌شود. دمایی که باید در آن دما دو دگمهٔ تماس ازهم جدا شوند به‌وسیلهٔ پیچ تنظیمی که از مهرهٔ عایق پشت تیغهٔ S گذشته و بر این تیغه تکیه دارد کنترل می‌شود.



شکل ۱-۱۰-ترموستا

اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی فلزات

برای اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی جامدات روشها و اسبابهای مختلفی به کار می‌رود. یکی از این اسبابها که برای اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی

فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل (۱-۱۱) نشان داده شده است. یك میلهٔ فلزی را که طول آن درحدود ۵۰ سانتیمتر است و ازابتدا بادقت اندازه‌گیری می‌شود، درون لولهٔ شیشه‌ای که در آن بخار آب جریان می‌یابد بین یك مانع ثابت S و ریز سنج M قرارمی‌دهند و پیش از آن که بخار آب را از لوله بگذرانند پیچ ریزسنج را پیچانیده وجلومی‌برند تا با سرمیله‌تماس حاصل کند ودرجه ریزسنج را می‌خوانند ویادداشت می‌کنند، دمای میله رانیز به‌وسیلهٔ دماسنجی که درون‌لوله است می‌خوانند ویادداشت می‌نمایند. سپس پیچ ریزسنج را چند دور در خلاف جهت اول می‌پیچانند تا تماس آن با میله قطع و بین میله و پیچ ریزسنج فاصله‌کوتاهی ایجاد شود، بعد جریان بخار آب جوش را درمدت چند دقیقه ازلوله عبور می‌دهند وقتی که تعادل دمایی برقرار شد پیچ ریزسنج را می‌پیچانند تا دوباره با میله تماس پیدا کند ودرجهٔ آن را می‌خوانند و یادداشت می‌کنند. برای احتیاط، باردیگر پیچ ریزسنج را پیچانیده و عقب می‌برند و چند دقیقه دیگر عبور بخار آب را ادامه می‌دهند و مجدداً تماس ریز سنج را با میله برقرار می‌سازند تا مطمئن شوند که دمای میله‌کاملا بادمای بخار یکی‌است، سپس دمای بخار را روی دماسنج می‌خوانند و یادداشت می‌کنند. برای مثال، درنظر بگیرید که آزمایشی روی یك میلهٔ برنجی انجام گرفته ونتایج زیر به‌دست آمده است.

طول اولی میله برنجی	۵۰۲/۰۰mm
دمای اولی میله	۱۶/۶°C
دمای آخری میله	۹۹/۵°C
اولین قرائت درجهٔ ریزسنج	۴/۲۷mm
آخرین قرائت درجهٔ ریزسنج	۳/۴۸mm

ضریب انبساط میله به‌ترتیب زیرحساب می‌شود:

افزایش دمای میله $۹۹/۵ - ۱۶/۶ = ۸۲/۹°C$

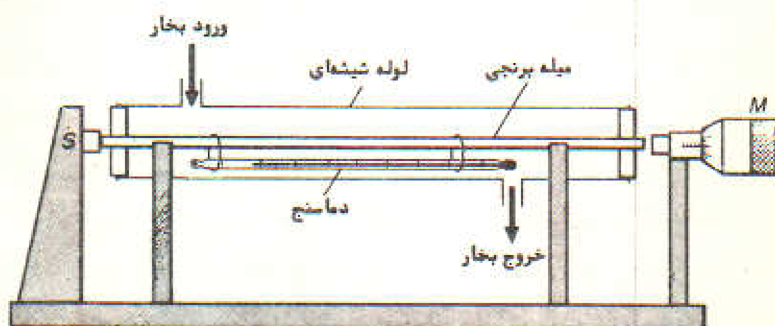
اندازهٔ انبساط طول میله $۴/۲۷ - ۳/۴۸ = ۰/۷۹mm$
$= ۰/۰۷۹cm$

ضریب انبساط طولی میله $= \frac{۰/۰۷۹}{۵۰/۲ \times ۸۲/۹} = ۰/۰۰۰۰۱۹/°C$

ب- انبساط سطحی جامدات - سطح اجسام جامد نیز در اثر گرما منبسط می‌شود.

بااستدلالی نظیر آن‌چه در مورد انبساط طولی جامدات بیان شد سطح یك جسم جامد نیز طبق رابطهٔ زیر منبسط می‌شود.

اندازه انبساط واحدسطح جامدتقریباً دوبرابر ضریب انبساط طولی آن است.



شکل ۱-۱۱- اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی

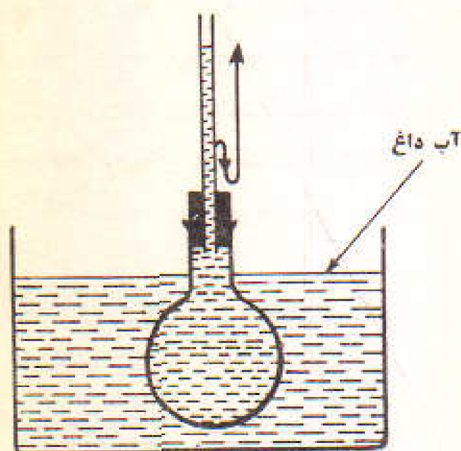
$$A_2 = A_1(1 + 2\lambda\theta) \qquad (1-4)$$

ج- انبساط حجمی جامدات - انبساط حجمی یك‌جسم جامد همگن، نتیجهٔ انبساط طولی آن‌در همهٔ جهات درون جامد است . اگر انبساط طولی‌درهمهٔ جهات یکسان باشد ضریب انبساط حجمی جامد (که بنا به‌تعریف‌عبارت است از اندازهٔ انبساط واحدحجم جامد وقتی‌که دمای آن $1^\circ C$ بالا برود) تقریباً سه برابر ضریب انبساط طولی آن است. دراین صورت اگر V_1 حجم جسم جامد قبل از انبساط و θ افزایش دما و K ضریب انبساط حجمی جامد باشد حجم آن بعد از انبساط V_2 می‌باشد و اندازه‌آن برابرخواهد بود با:

$$V_2 = V_1(1 + K\theta) \qquad K = 3\lambda \qquad (1-5)$$

۲- انبساط مایعات - گفتیم که مایعات از جامدات بیشترمنبسط می‌شوند؛ به عبارت دیگرضریب انبساط حجمی‌مایعات ازضریب انبساط حجمی‌جامدات بزرگتر است . چون مایعات تابع ظرف خود هستند به هنگام انبساط ظرف و مایع هردو منبسط می‌شوند. بنابراین انبساطی که مشاهده می‌شود ظاهری است نه حقیقی . ما ضمن شرح ساختمان دماسنجهای مایعی انبساط ظاهری جیوه و الکل را متذکر شدیم .اینك بایك آزمایش ساده می‌توانید انبساط ظاهری مایعات را مشاهده کنید :

یك بالون شیشه‌ای را از آب یا مایع دیگر پر کنید و با چوب‌پنبه‌ای که لولهٔ‌شیشه‌ای‌باریك وبلندی از میان آن گـذرانیده‌اید دهـانهٔ بالـون را ببندید (شکل۱-۱۲)، به‌طوری‌که آب کمی در لوله بالاآید و بالون را در ظرف آب داغی فروبرید . نخست‌بالون درمجاورت با آب داغ منبسط می‌شود و سطح مایع‌در لوله اندکی‌پایین‌می‌آید ولی بعد مایع به تدریج گرم شده و بیشتر از ظرف خود منبسط می‌شود و سطح‌مایع در لوله بالا می‌رود و بالاتر از جایی‌که ابتدا ایستاده بود قرار می گیرد .



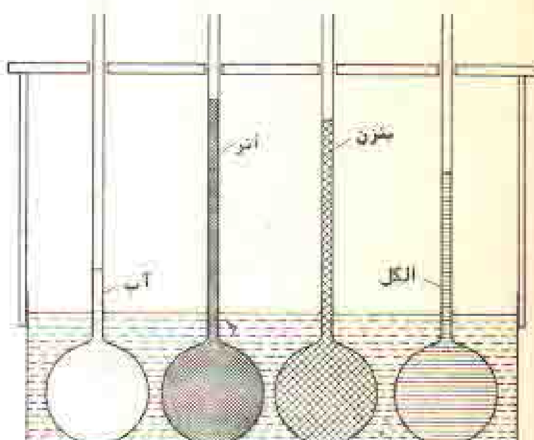
شکل۱-۱۲- انبساط ظاهری مایع

پرسش ۱-۱۴ - مخزن دماسنجهای دقیق جیوه‌ای را از کـوارتز می‌سازند . باتوجه به جدول ۱-۲ بگویید علت آن چیست ؟

مقایسه انبساط مایع‌های مختلف

باید درنظرداشت که مایعات فقط انبساط‌حجمی دارند وضریب انبساط حجمی‌مایعات مختلف متفاوت است . برای نشان دادن این تفاوت چند بالون یکسان نسبتاً بزرگ را که هـریك به‌لوله‌ای بـاریك و بلند

منتهی می‌شود تا قسمت پایینی لوله آزمایشهای مختلف مانند آب والکل و اتر و بنزن پر می‌کنیم و بالونها را درظرفی که محتوی آب سرد است فرو می‌بریم و صبر می‌کنیم تا دمای همه آنها یکی شود. درصورت لزوم به‌هریك مقدار کمی از مایع درون آن اضافه می‌کنیم تا سطح آزاد مایع درهمه یکی باشد، سپس ظرف آب را گرم می‌کنیم وضمن گرم کردن، آب را بهم می‌زنیم تا دمای آن یکنواخت شود. وقتی که تعادل دمائی برقرار گردید یعنی دمای بالونها و مایع‌های محتوی آنها برابردمای آب ظرف شد مشاهده می‌شود باوجود این که دمای همه بالونها به‌یك اندازه افزایش یافته است مایعها درلوله به‌اندازه‌های متفاوت بالا رفته است (شکل ۱ــ۱۳)



شکل ۱ــ۱۳ــ مقایسه انبساط مایعها

ضریب انبساط مطلق یك مایع ــ انبساط مطلق مایعات عملا مانند انبساط جامدات همگن و ایزوترپ[۱] است. بنابراین قانونهای انبساط حجمی یك جامد درباره انبساط مطلق یك مایع نیز صادق است.

ضریب انبساط مطلق متوسط یك مایع، بنا به تعریف عبارتست از اندازه انبساط واحد حجم مایع وقتی که دمای آن $1^\circ C$ بالا رود.

بنابراین اگر V_0 حجم حقیقی مایع در $0^\circ C$ و V حجم حقیقی آن در $\theta^\circ C$ باشد. ضریب انبساط مطلق متوسط مایع برابرخواهد بود با

$$a = \frac{V - V_0}{V_0 \theta} \qquad (۱-۶)$$

این ضریب که مشخص کننده مایع مورد نظر است بستگی بهظرف آن ندارد.

در جدول ۱ــ۳ ضریب انبساط مطلق متوسط چند مایع بین صفر درجه و پنجاه درجه سلسیوس برای نمونه داده شده است.

جدول ۱ــ۳ــ ضریب انبساط مطلق متوسط چندمایع

نوع مایع	ضریب انبساط مطلق
اترمعمولی	$۱/۶ \times ۱۰^{-۳}$
الکل اتیلیك	$۱/۱ \times ۱۰^{-۳}$
بنزن	$۱/۲ \times ۱۰^{-۳}$
تلوئن	$۱/۲ \times ۱۰^{-۳}$
گلیسرین	$۰/۵ \times ۱۰^{-۳}$
جیوه	$۰/۱۸ \times ۱۰^{-۳}$

ازمقایسه این مقادیر باضریبهای انبساط حجمی جامدات معلوم می‌شود که مایعات خیلی بیشتر ازجامدات

۱ــ Isotrope، جسم ایزوترپ یعنی جسمی که خواص فیزیکی آن (مثلا خاصیت انبساط) در تمام جهات اطراف یك نقطه درون آن یکسان است.

(از ده تا صد برابر) منبسط می‌شوند. اگر ضریب انبساط مطلق مایعی در دست باشد از رابطهٔ ۱ ـ ۶ حجم مطلق مایع در دمای θ° حساب می‌شود. کافی است حجم آن را در دمای صفردرجه بدانیم. یعنی:

$$V = V_\circ(1 + a\theta) \quad (۱-۷)$$

تغییر جرم حجمی یک مایع با دما ـ در نظر بگیریم که m جرم مقدار مایعی باشد که حجم آن در صفردرجه $V_\circ$ است، جرم حجمی آن دردمای صفر درجه برابراست با:

$$\rho_\circ = \frac{m}{V_\circ}$$

اگر V حجم حقیقی این مایع دردمای θ باشد جرم حجمی آن دراین دما برابراست با:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_\circ(1 + a\theta)}$$

که دراین رابطه a ضریب انبساط مطلق متوسط مایع است.

از تقسیم دو رابطه بالا برهم نتیجه می‌شود:

$$\frac{\rho}{\rho_\circ} = \frac{m}{V_\circ(1 + a\theta)} \div \frac{m}{V_\circ} = \frac{1}{1 + a\theta}$$

یا:

$$\boxed{\rho = \frac{\rho_\circ}{1 + a\theta}} \quad (۱-۸)$$

یعنی جرم حجمی یک مایع دردمای θ برابر است با خارج قسمت جرم حجمی آن در دمای صفردرجه بر $1 + a\theta$.

مثال ـ جرم حجمی جیوه در دمای صفر درجه سلسیوس برابر ۱۳/۶۰ گرم برسانتیمترمکعب است جرم حجمی آن را در دمای $50^\circ C$ حساب کنید.

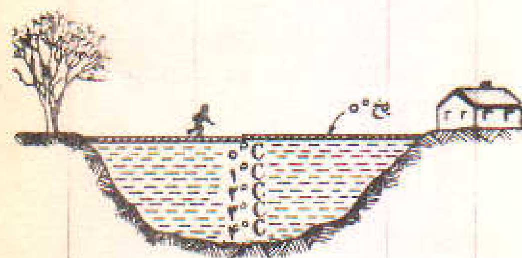
ـ داریم:

$$\rho = \frac{\rho_\circ}{1 + a\theta}$$

به‌ازای $\rho_\circ = 13/6 \frac{g}{cm^3}$ و $a = 0/18 \times 10^{-3} /{^\circ C}$ و $\theta = 50^\circ C$ خواهیم داشت.

$$\rho = \frac{13/60}{1 + 0/18 \times 10^{-3} \times 50} \simeq 13/47 \; g/cm^3$$

انبساط آب غیرعادی است ـ از $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ حجم آب به‌جای افزایش، کاهش می‌یابد. ازدمای $4^\circ C$ به بالاآب انبساط عادی خودرا باز می‌یابد. بنابراین وقتی که دمای آب $4^\circ C$ است کمترین حجم و در نتیجه بیشترین جرم حجمی را دارد. در $0^\circ C$ آب شروع به یخ بستن می کند و حجمش بیشتر می‌شود. پس‌از یخ‌بستن اگر دما از $0^\circ C$ پایین‌تر رود یخ‌مانند جامدات دیگر منقبض می‌شودوحجمش کاهش‌می‌یابد. انبساط غیرعادی‌آب بین $0^\circ C$ و $4^\circ C$ برای ماهیها و موجودات دیگر که در دریاچه‌ها و آبگیرهای مناطق سرد زندگی می کنند دارای اهمیت بسیار است. در زمستان که‌این دریاچه‌ها و آبگیرها گرمای خود را به محیط اطراف خود داده و سرد می‌شوند سطح آنها یخ می‌بندد ولایه‌های‌آب به ترتیب دماهایی که درشکل ۱-۱۴ نمایش داده است روی‌هم قرار می‌گیرند، یعنی آب $4^\circ C$ که سنگین‌تراست درته دریاچه قرارمی گیرد و لایه‌های روی آن از پایین به بالا به ترتیب جرم حجمی‌آب ودماهای $3^\circ C$ و $2^\circ C$ و $1^\circ C$ واقع می‌شوند وآب در تماس‌بایخ‌دارای دمای $0^\circ C$ است. این‌پدیده



شکل ۱-۱۴ـ ترتیب دماهای آب در دریاچه‌ای که سطح آن از یخ پوشیده است.

به موجوداتی که در این آبها زندگی می‌کنند امکان می‌دهد که در زمستان زیر یخ زنده بمانند .

۳ــ تغییر حجم و فشار گازها در اثر گرما ــ گفتیم در گازها فاصلهٔ مولکولها از یکدیگر نسبت به حالت جامد یا مایع خیلی زیاد و نیروهای پیوستگی بین مولکولها نـاچیز است . بنابراین هر مولکول آزادانه به خط راست حرکت می‌کند تا این که به مولکولهای‌دیگر یا به جدار مخزن خود برخوردکند و در اثر این برخورد تغییر مسیر دهد .

سرعت حرکت مولکولها در گازها زیاد است. مثلا سرعت متوسط حرکت انتقالی مولکولهای گاز نیتروژن موجود در هوا در دمای معمولی به حدود ۵۰۰ متر بر ثانیه می‌رسد . به‌علت همین سرعت زیاد مولکولها و همچنین بـه علت ناچیز بودن نیروهای پیوستگی بین آنهاست که گازها شکل‌و حجم معینی ندارند . وقتی که گازی درون ظرفی محـبوس‌می‌شود برجدار ظرف فشار وارد می‌آورد .. مثلا وقتی که یك بادکنك یا یك توپ بازی را باد می‌کنید هوای درون آن درتمام جهات تقریباً به‌طور یکسان بر جدارفشار وارد می‌سازد .

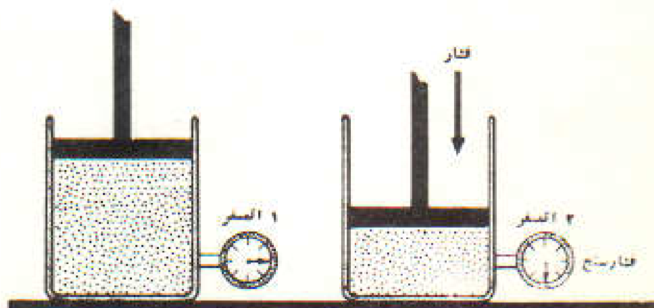
دراین نوع فشار ، وزن گازکه خیلی کم‌است مؤثر نیست ، ولی می‌توان فشار را براساس « آزاد بودن حرکت مولکولهای گاز » چنین توضیح‌داد:

هر مولکول که به‌جدار ظرف برخورد می‌کند بر آن ضربه وارد می‌سازد مانند ضربه‌ای که یك توپ بازی هنگام برخورد به‌دیوار بر آن وارد می‌آورد . چون تعداد مولکولهای موجود دریك گاز حتی دریك حجم خیلی کوچك بسیار زیاد است درهرلحظه‌میلیارد میلیارد مولکول جدار ظرف را بمباران می‌کنند . مجموع این ضربه‌های متوالی برجدار ظرف به‌صورت فشار ثابتی ظاهر می‌شود که به‌طور یکنواخت برسطح جدار وارد می‌گردد .

وقتی که گازدرون یك‌ظرف ، که حجمش ثابت است ، گرم می‌شود فشار آن افزایش می‌یابد .

این‌پدیده‌رامی‌توان‌چنین توجیه‌کردکه انرژی گرمـایی سرعت حـرکت مولکولهای گاز را بیشتر می‌کند. بنابراین‌مولکولها با ضربهٔ‌شدیدتری به‌جدار ظرف‌برخورد می‌کنند ودرنتیجه فشاربیشتری برجدار ظرف وارد می‌شود . هرچه دمای گاز بالاتر رود فشار آن نیز بیشترمی‌شود . بنابراین وضعیت یك گاز در صورتی مشخص می‌شود کـه فشار و حجم و دمای آن معین باشد .

الف ـ رابطهٔ بین‌حجم و فشار گازها دردمای ثابت ـ قانون «بویل‌ـماریوت» ــ استوانهٔ‌مسدودی را در نظر بـگیرید (شکل۱ــ۱۵) که دهانهٔ بالایی آن به‌وسیلهٔ پیستون بدون منفذی‌بسته شده است و پیستون



شکل ۱ــ۱۵ــ در دمای ثابت حجم گاز متناسب با عکس فشار است .

می‌تواند به آسانی در استوانه حرکت کند و درون استوانه گازی مانند هوا وجود دارد. چنانچه دما ثابت باشد حجم گاز درون استوانه بستگی به فشاری دارد که توسط پیستون بر آن وارد می‌شود اگر پیستون به‌طرف پایین رانده شود فشار بیشتری بر گاز وارد می‌سازد و حجم گاز کم می‌شود. ولی گاز هم به نوبهٔ خود در مقابل فشار پیستون ایستادگی می‌کند و عمل تراکم وقتی متوقف می‌شود که فشار گاز برابر فشار پیستون باشد. قانونی که رابطهٔ بین حجم و فشار مقدار معینی گاز را در دمای ثابت نشان می‌دهد نخستین بار توسط بویل[1] (۱۶۹۱–۱۶۲۷م) در انگلستان و ماریوت[2] (۱۶۸۴–۱۶۲۰م) در فرانسه جداگانه به‌دست آمده است. طبق این قانون که آن را قانون بویل-ماریوت می‌نامیم حجم یک گاز که دمای آن همواره ثابت باشد به نسبت عکس فشاری که بر آن وارد می‌شود تغییر می‌کند. یعنی اگر فشار وارد برسطح پیستون (شکل ۱–۱۵) دو یا سه یا چهار برابر شود حجم گاز درون استوانه نصف یا ثلث یا ربع می‌شود. ازطرف دیگر اگر فشار کم شود و مثلاً به نصف یا ثلث مقدار اولیهٔ خود برسد، گاز پیستون را به‌طرف بالا می‌راند به طوری که حجمش به‌دو برابر یا سه برابر مقدار اولیه برسد. بنابراین:

حجم یک گاز در دمای ثابت متناسب با عکس فشار آن است.

از نظر ریاضی قانون بویل- ماریوت را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\text{حجم گاز} \propto \frac{1}{\text{فشار گاز}}$$

یا

$$V \propto \frac{1}{P}$$

V نمایش حجم گاز و P نمایش فشار آن و $\propto$ علامت تناسب است. نتیجه آن که:

$$V = \text{مقدار ثابت} \times \frac{1}{P}$$

یا (۱–۹)

$$\boxed{PV = \text{مقدار ثابت}}$$

مثلاً اگر در فشار P_1 حجم گاز V_1 باشد و در فشار P_2 حجم آن V_2 شود، داریم:

$$P_1V_1 = P_2V_2 = \text{مقدار ثابت}$$

ب- رابطهٔ بین دما و حجم گازها در فشار ثابت- قانون شارل- گیلوساک. - گازها وقتی که فشارشان ثابت بماند در اثر گرما حجمشان افزایش می‌یابد.

- **پرسش ۱–۱۵** - در شکل ۱–۵ در صورتی که پیستون آزادانه بتواند حرکت کند هر گاه گاز درون استوانه گرم شود وضع پیستون چه خواهد شد؟

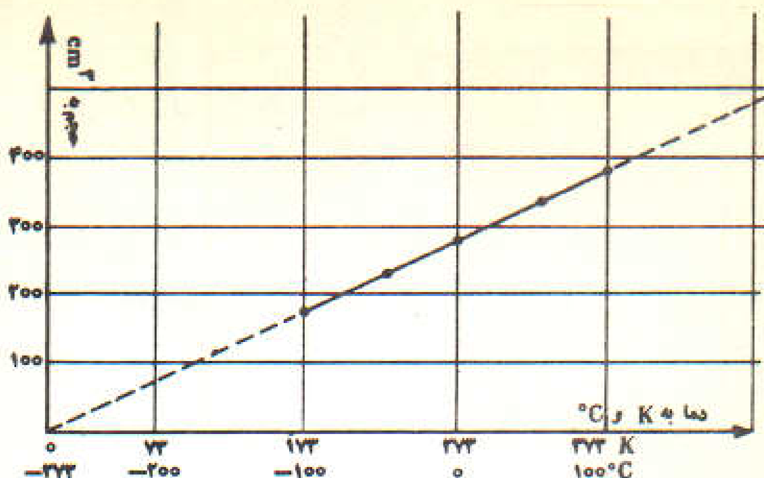
قانون تغییرات حجم گازها با دما در فشار ثابت توسط شارل[3] (۱۸۲۳ – ۱۷۴۶ م) و گیلوساک[4] (۱۸۵۰–۱۷۷۸م) فیزیکدانان فرانسوی جداگانه کشف شده‌است. این قانون به‌نام قانون شارل- گیلوساک به‌صورت زیر بیان می‌شود:

هرگاه فشار گازی ثابت بماند، در صورتی که دمای آن به‌اندازهٔ $1°C$ افزایش یابد تقریباً به‌اندازهٔ $\frac{1}{273}$ حجمی که گاز در دمای $0°C$ دارد افزایش حجم می‌یابد.

به‌عبارت دیگر ضریب انبساط حجمی گازها در فشار ثابت تقریباً برابر $\frac{1}{273}$ بر $°C$ است.

جدول ۱–۴ و نمودار شکل ۱–۱۶ اندازه‌های تقریبی حجم یک گاز را در فشار ثابت برای دماهای

1- Robert Boyle
2- Mariotte
3- Charles
4- Gay - Lussac



شکل ۱-۱۶- درفشار ثابت، حجم گاز متناسب با دمای مطلق آن است.

مختلفی که برحسب درجهٔ سلسیوس و درجهٔ کلوین انتخاب شده‌اند نشان می‌دهند و برای آسانی مقایسه، حجم نمونه‌در $0°C$ برابر ۲۷۳ سانتیمتر مکعب انتخاب شده است.

جدول ۱-۴

دما به °C	دما به K	حجم گاز به cm^3
−۱۰۰	۱۷۳	۱۷۳
−۵۰	۲۲۳	۲۲۳
۰	۲۷۳	۲۷۳
۵۰	۳۲۳	۳۲۳
۱۰۰	۳۷۳	۳۷۳

نمودار شکل ۱-۱۶ که‌به‌شکل خط راست‌است معرف قانون شارل- گیلوساك می‌باشد و نشان می‌دهد که درفشار ثابت، حجم یك گاز متناسب بادمای‌مطلق آن است، یعنی :

دمای‌مطلق گاز $\propto$ حجم گاز

یا $V \propto T$

یا $V =$ مقدارثابت $\times T$

نتیجه آن که : (۱ — ۱۰) مقدار ثابت $= \frac{V}{T}$

مثلاً اگر تحت فشار معین و ثابت، در دمای مطلق T_1 حجم گازی V_1 باشد و در دمای مطلق T_2 حجم آن V_2 شود خواهیم داشت :

$$\text{مقدار ثابت} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$$

مثال - اگرمقداری گاز نیتروژن که‌در $27°C$ حجمش ۲۰۰ سانتیمتر مکعب است تحت فشار ثابت تا $127°C$ گرم شود چه‌اندازه افزایش حجم خواهد یافت؟

داریم : $V_1 = 200 cm^3$

و $V_2 = x cm^3$

$T_1 = (273 + 27)°C = 300\ K$

و $T_2 = (273 + 127)°C = 400\ K$

چون : $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

پس : $\frac{200}{300} = \frac{x}{400}$

بنابراین: $x = \frac{200 \times 400}{300} = \frac{800}{3} \simeq 266 cm^3$

افزایش حجم تقریبی گاز برابر است با :

$$266 - 200 = 66 cm^3$$

اگر نمودار شکل ۱-۱۶ ازطرف چپ ادامه یابد (قسمت نقطه‌چین) محور نمایش دماها را در صفر مطلق (۲۷۳°C −) قطع می‌کند واین بدان‌معنی‌است که از نظر تئوری در صورتی که فشار گاز ثابت‌بماند حجم آن درصفر مطلق صفر خواهدشد و پیش از این یادآور شدیم که صفر مطلق پایین‌ترین حد دما است .

پرسش ۱-۱۶ ـ به نظر شما آیا عملاً هم‌در صفر مطلق حجم گاز صفر است ؟

ج ـ قانون عمومی گازها ـ از ترکیب دو قانون‌بویل ـماریوت(مقدارثابت $= PV$) وشارل ـ گیلوساك (مقدارثابت $= \frac{V}{T}$) قانون کلی‌تری به‌نام قانون‌عمومی گازها‌به‌دست‌می‌آید که‌بدین‌صورت‌است:

$$\boxed{\frac{PV}{T} = \text{مقدارثابت}} \qquad (۱ - ۱۱)$$

این رابطه چنان‌که می‌بینید ، بستگی بین‌فشار و حجم و دمای مطلق گاز را نشان می‌دهد . مثلا اگر در دمای مطلق T_1 و تحت فشار P_1 حجم گازی V_1 باشد و دردمای‌مطلق T_2 و فشار P_2 حجم‌آن V_2 شود خواهیم داشت : مقدار ثابت $= \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_1V_1}{T_1}$

پرسش ۱-۱۷ ـ چگونه می‌توانید قانونهای بویل‌ـماریوت‌وشارل ـگیلوساك را از رابطهٔ(۱ ـ ۱۱) نتیجه بگیرید ؟

پرسش ۱-۱۸ ـ اگر هنگام تغییر دما ، حجم گازی ثابت بماند تغییرات فشارآن با دما طبق چه رابطه‌ای صورت‌می‌گیرد ؟

گازی که‌تغییرات‌حجم‌وفشارش‌بادمای‌مطلق‌تابع قانون عمومی گازها باشد گاز کامل نامیده می‌شود .

تعریف قبل‌برای گاز کامل ازدید ماکروسکپی است. ولی از نظر میکروسکپی گاز کامل را چگونه می‌توان تعریف کرد ؟ ازمجموع سه‌حالتی که‌ماده در شرایط عادی دارد ، حالت‌گازی‌ساده‌ترین آنهاست، زیرا دراین حالت نیروهای مؤثرمیان مولکولها‌بسیار کوچکند و در بعضی شرایط ممکن است ناچیزباشند. اگر بجای آنکه نیروهای بین مولکولی را کوچك بگیریم فرض‌کنیم‌که اصلاً وجود ندارند ، همچنین ابعاد مولکولها را ناچیزانگاریم یعنی‌آنها رادرحکم نقاط مادی بدون بعد درنظر بگیریم، بااین‌مفروضات مولکولهای گاز مطلقاً آزاد درنظر گرفته می‌شوند، بدین معنی‌که مولکولها‌بطور یکنواخت برخط‌راست حرکت می‌کنند ، به همانگونه که اجسام در غیاب نیرو همواره چنین حرکت می‌کنند .

بنابراین هرمولکول چنان رفتار می‌کند که مولکولهای دیگری درظرف وجود نداشته باشند.

گازی که دارای خواصی همانند خواص انبوه نقاط مادی بدون تأثیر بر یکدیگر باشد گازکامل نامیده‌می‌شود .

گازهایی‌مانند هلیم،ئیدروژن ، هوا ، اکسیژن و نیتروژن‌که‌در دماهای خیلی پایین تبدیل به مایع می‌شوند تاحدودزیادی از قانون عمومی گازهاپیروی می‌کنند . این گازها درحکم گاز کامل‌هستند.

مثال ۱ ـ مقداری گاز که در دمای ۲۷°C و فشار ۸۰سانتیمتر جیوه دادای حجم ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب بوده است متراکم‌شده‌وحجمش به ۵۰۰سانتیمتر مکعب و فشارش به ۲۰۰ سانتیمتر جیوه رسیده‌است. در این شرایط دمای آن چند درجهٔ سلسیوس شده است ؟

جواب :

$$P_1=80\,cmHg \qquad V_1=1000\,cm^3$$

و
$$T_1=273+27=300\ K$$

$$P_2=200\,cmHg\ ،\ V_2=500\,cm^3$$

$$T_2=x\ K$$

چون :
$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$$

بنابراین:
$$\frac{80\,cmHg\times 1000\,cm^3}{300\ K}=\frac{200\,cmHg\times 500\,cm^3}{x}$$

$$x=T_2=\frac{200\times 500\times 300}{80\times 1000}=375\ K$$

دما بـرحسب درجهٔ سلسیوس برابر است بـا :

$$\theta=375-273=102^\circ C$$

مثال ۲ـ ۱۲۵ سانتیمترمکعب گاز ئیدروژن دردمای $15^\circ C$ و فشار ۷۵۵ میلیمتر جیوه تهیه شده است. حجم این گاز درشرایط استاندارد (دمای $0^\circ C$ و فشار $760\,mmHg$) چه اندازه است؟

جواب :

$$T_1=273+15=288\ K,$$

$$P_1=755\,mmHg\ ,\ V_1=125\,cm^3$$

$$T_2=273+0=273\ K,$$

$$P_2=760\,mmHg\ ,\ V_2=x$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$$

یا
$$\frac{755\times 125}{288}=\frac{760V_2}{273}$$

$$V_2=\frac{755\times 125\times 273}{288\times 760}=118\,cm^3$$

ـــ رابطه بین جرم حجمی یک گاز کامل و فشار ودمای گاز ــ درنظر بگیریم کـه m جـرم مقداری گاز کامل باشد که دردمـای مطلق T_1 وتحت فشار P_1 حجم V_1 را اشغال کرده است. جرم حجمی این گاز در این شرایط برابراست با

$$\rho_1=\frac{m}{V_1}$$

اگرهمین مقدار گاز در دمای مطلق دیگر T_2 و تحت فشار دیگر P_2 حجم V_2 را اشغال کند جرم حجمی آن دراین شرایط جدید برابرخواهد بود با

$$\rho_2=\frac{m}{V_2}$$

درنتیجه
$$m=\rho_1V_1=\rho_2V_2$$

ازطرف دیگرداشتیم :

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$$

ازتقسیم دو رابطه اخیربرهم نتیجه می‌شود :

$$\frac{\rho_1T_1}{P_1}=\frac{\rho_2T_2}{P_2}$$

وازآنجا :

$$\boxed{\frac{\rho_2}{\rho_1}=\frac{P_2}{P_1}\cdot\frac{T_1}{T_2}} \qquad (۱-۱۲)$$

این رابطه نشان می‌دهد که جرم حجمی یک گاز کامل با فشار آن نسبت مستقیم و با دمای مطلق آن نسبت معکوس دارد .

اگـر در شرایط استانـدارد (یعنی در فشار $P_0=1atm$ و در دمای $T_0=273\ K$) جرم‌حجمی گاز را به ρ_0 ودرشرایط P و T (فشار P و دمای T) جـرم حجمی گاز را به ρ نمـایش دهیم طبق رابطه ۱ـ۱۵ خواهیم داشت .

$$\frac{\rho}{\rho_0}=\frac{P}{P_0}\times\frac{T_0}{T}$$

یا :
$$\boxed{\rho=\rho_0\frac{P}{P_0}\cdot\frac{T_0}{T}} \qquad (۱-۱۳)$$

مثلا جرم حجمی هوا که در شرایط استاندارد $\rho_0 \simeq 1/3 Kg/m^3$ است در فشار ۱۰ اتمسفر و در دمای $20°C$ (یعنی $293 K = 273 + 20$) برابر خواهد بود با :

$$\rho = 1/3 \times \frac{10}{1} \times \frac{273}{293} \simeq 12/1 \frac{Kg}{m^3}$$

۴ــ گرمای نهان ــ وقتی که حالت فیزیکی ماده تغییر می‌کند ، مثلا هنگامی که یك جسم جامد در اثر گرما به مایع یا مایعی به بخار تبدیل می‌شود دمای جامد یا مایع در مدت تغییر حالت ثابت می‌ماند . یعنی انرژی گرمایی که جسم می‌گیرد به صورت افزایش دما ظاهر نمی‌شود . چون انرژی از بین نمی‌رود این پرسش پیش می‌آید که در این حالت انرژی گرمایی چه می‌شود .

برای پاسخ دادن به این پرسش نخست حالتی را در نظر می‌گیریم که یك جسم جامد در اثر گرما به مایع تبدیل می‌شود . این تغییر حالت را چنان که می‌دانید ذوب یا گداز گویند . آزمایش زیر را خودتان می‌توانید در خانه نیز انجام دهید :

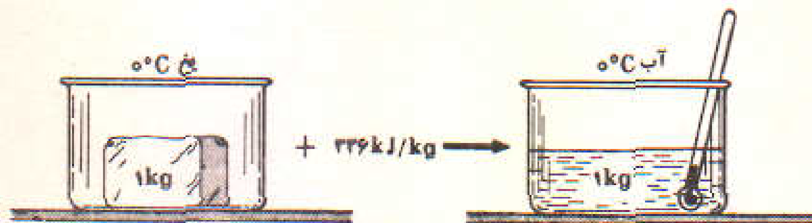
مقداری یخ را از درون مخزن یخچال بیرون آورید و آن را خوب خرد کنید و در ظرفی بریزید و دماسنجی را میان خرده یخها فرو برید . دماسنج چند درجه زیر صفر را نشان خواهد داد . سپس ظرف یخ را روی شعلهٔ خیلی ملایمی قرار دهید و همان طور که به آرامی گرم می‌شود آن را به هم بزنید (عمل به هم زدن را نباید با دماسنج انجام داد زیرا جدار مخزن دماسنجها را خیلی نازك می‌سازند و ممکن است بشکند) .

مشاهده خواهید کرد که ابتدا دمای یخ تا صفر درجه بالا می‌آید و در این دما یخ شروع به ذوب شدن می‌کند و مخلوطی از آب و یخ به وجود می‌آید ولی با آن که این مخلوط گرما دریافت می‌کند دما در صفر درجه ثابت می‌ماند تا این که تمام یخ ذوب شود . پس از ذوب تمام یخ اگر گرما دادن ادامه یابد دمای آب بالا می‌رود . از این آزمایش دو نتیجهٔ مهم گرفته می‌شود :

نخست آن که ، برای ذوب واحد جرم یك جسم جامد مانند یخ مقدار مشخصی گرما لازم است. دوم آن که هنگام، ذوب جسم جامدی مانند یخ که ساختمان بلوری دارد در تمام مدت ذوب دما ثابت می‌ماند.

می‌دانید دمایی که در آن دما جسم جامد شروع به ذوب شدن می‌کند نقطهٔ ذوب نامیده می‌شود . نقطهٔ ذوب بستگی به فشاری دارد که به هنگام ذوب بر جسم وارد می‌شود . نقطهٔ ذوب اغلب اجسام جامد با افزایش فشار بالا می‌رود . اجسامی هم وجود دارند که نقطهٔ ذوبشان در اثر فشار پایین می‌آید و یخ یکی از آنهاست. این اجسام معمولا برخلاف جامدات دیگر، حجمشان در موقع انجماد افزایش می‌یابد.

گرمای نهان ذوب ــ گرمایی که لازم است تا



شکل ۱ــ۱۷ــ گرمای نهان ذوب یخ ۳۳۶ کیلوژول/کیلوگرم است.

واحدجرم یك جسم جامد (یك کیلو گرم جسم جامد) در نقطهٔ ذوب خود به مایع تبدیل شود گرمای ذوب آن جسم نامیده می‌شود .

گرمای ذوب برای هرجسم جامد بلورین‌مقدار مشخصی است که ویژهٔ آن جسم است ولی برای مواد مختلف متفاوت است . مثلا گرمای ذوب‌یخ در دمای صفر درجه در حدود ۳۳۶ کیلوژول بر کیلو گرم یا ۸۰ kcal/kg است .

اگر گرمای‌نهان ذوب یك‌جسم جامد را در نقطه ثابت ذوب به L_F نمایش دهیم مقدار گرمایی که لازم است تا جرم m ازاین جسم را بدون تغییر دما ذوب کند برابراست با :

$$Q_F = mL_F \qquad (۱-۱۴)$$

دراین‌رابطه m برحسب کیلو گرم و L_F برحسب $\frac{\text{ژول}}{\text{کیلوگرم}}$ یا برحسب $\frac{\text{کیلوکالری}}{\text{کیلوگرم}}$ است.

پرسش ۱-۱۹ ـ آیا هنگامی که یك مایع به جامد تبدیل می‌شود دمای آن ثابت می‌ماند ؟ در مدت انجماد ، گرمای نهان جسم چه می‌شود؟

گرمای نهان تبخیر ـ وقتی که کتری آبی‌روی شعلهٔ گاز یایك دستگاه گرمکن دیگر گذارده می‌شود دمای‌آب‌به‌تدریج‌بالامی‌رود تا به ۱۰۰°C برسد.دراین دما آب شروع به جوشیدن می کند یعنی حبابهای‌بخار در ته‌کتری‌تشکیل می‌شوند و به‌سطح آب می‌رسند ودر آنجاپارەمی‌شوند وبه صورت‌بخارازآب‌خارج‌می‌شوند.

دمایی که درآن دما مایع به جوش می‌آیدنقطهٔ جوش مایع نامیدەمی‌شود . نقطهٔ جوش هرمایع‌بستگی به فشاری دارد که بر سطح مایع وارد می‌شود : دمای جوش با افزایش فشار بالامی‌رود و باکاهش‌فشارپایین می‌آید. مثلا درفشار استاندارد اتمسفر ، دمای جوش آب ۱۰۰°C است ولی در دیگهای زود پز که فشار بیشتر از اتمسفر استآب در دمای بالاتر از ۱۰۰°C به جوش‌می‌آید ودرنقاط مرتفع که فشار کمتر ازاتمسفر است آب در دمای پایین تر از ۱۰۰°C می‌جوشد .

همین که مایع‌به‌جوش آمد با آن که گرماجذب می کند دمایش ثابت می‌ماند . گرمایی که بدین‌ترتیب جذب مایع می‌شود صرف تبدیل آن به‌بخارمی گردد. بنابراین عمل تبخیر مانند عمل ذوب گرماگیر است.

آزمایش‌نشان‌می‌دهد برای این که یك‌کیلو گرم آب در نقطهٔ‌جوش ۱۰۰°C به بخار تبدیل شود باید انرژی گرمایی درحدود ۲۲۶۰ کیلوژول تقریباً(معادل ۵۴۰ کیلو کالری) به‌آن‌داده شود . این‌مقدار گرما را گرمای نهان تبخیر آب گویند .

گرمای نهان تبخیر یك ماده اندازهٔ گرمایی است که لازم‌است تا واحدجرم‌آن ماده‌را دردمای‌ثابت ازحالت مایع به حالت بخار تبدیل کند.

چنانچه گرمای تبخیریك مایع را به L_V نمایش دهیم مقدار گرمایی که لازم است تا مایعی به‌جرم m بدون تغییردما به‌بخارتبدیل شود از رابطهٔ زیر به‌دست می آید .

$$Q_V = mL_V \qquad (۱-۱۵)$$

وقتی که بخار سرد و متراکم شود بعمایع‌تبدیل می گردد و گرمایی را که‌جذب کرده است پس‌می‌دهد و این یکی از دلایلی است‌که سوختگی حاصل ازبخار آب جوش شدیدتر از سوختگی حاصل از خود آب جوش است. باید بدانیم که تبدیل بخار به‌مایع را میعان می گویند.

پرسش۱-۲۰ ـ چەاندازه گرمالازم است تا ۱۰ گرم‌یخ‌صفر درجه رابه‌بخار آب ۱۰۰°C تبدیل کند؟

انتقال گرما

دیدید که گرما همواره از جایی که دمایش بالاتر است به جایی که دمایش پایین‌تر است منتقل می‌شود و می‌دانید که انتقال گرما به سه راه صورت می‌گیرد: رسانایی، همرفتی و تابش.

۱ــ رسانایی ـ بسیاری از اجسام جامد، به ویژه فلزات، انرژی گرمایی را از خود عبور می‌دهند. روش انتقال گرما در اجسام جامد رسانایی یا هدایت گفته می‌شود و جامداتی که گرما را به خوبی هدایت می‌کنند رسانا یا هادی گرما نامیده می‌شوند. مثلاً اگر یک‌سر میلهٔ مسی را در شعله بگیریم انرژی گرمایی کم‌کم از آن می‌گذرد تا این‌که تمام میله گرم شود. این خاصیت یکی از ویژگیهای رساناهاست و براساس آن است که می‌توانید بیان کنید چرا مثلاً دستهٔ یک قاشق چایخوری که سر آن در چای داغ قرار دارد به هنگام لمس داغ حس می‌شود.

پرسش ۱-۲۱ــ بنابر تئوری مولکولی انتقال گرما در یک میلهٔ فلزی چگونه توجیه می‌شود؟

موادی که گرما را هدایت نمی‌کنند نارسانا یا عایق نامیده می‌شوند. پشم، چوب‌پنبه، هوا و آب، از نارساناهای طبیعی هستند.

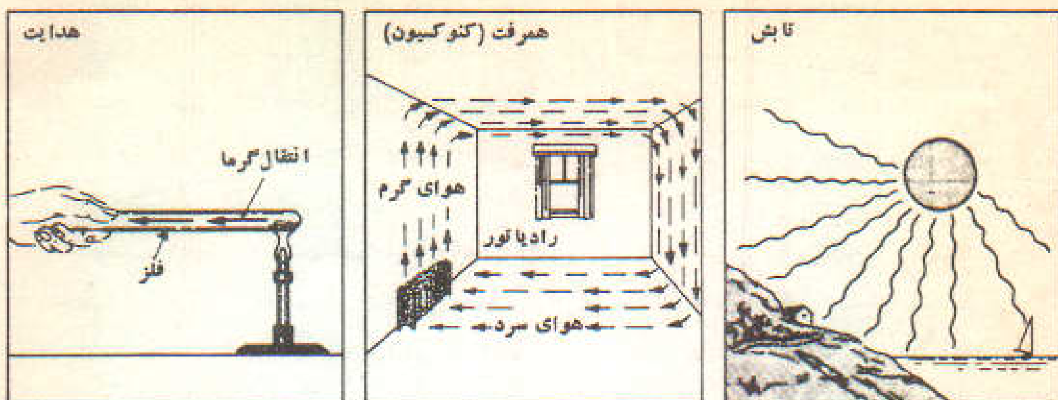
در صنعت و آزمایشگاه و زندگی هر دو دسته اجسام رسانا و نارسانا را برای کنترل انتقال گرما به کار می‌برند. رساناها را هنگامی به کار می‌برند که بخواهند گرما را از جایی به جای دیگر منتقل کنند. مثلاً دیگهای آشپزخانه را از رساناهای خوبی مانند آلومینیم یا مس می‌سازند تا گرما را از شعله به‌آنچه درون آنهاست به‌خوبی هدایت کنند. نارساناها را وقتی به‌کار می‌برند که بخواهند از انتقال گرما جلوگیری کنند.

پرسش ۱-۲۲ ـ چه مواردی را می‌شناسید که از نارساناها برای جلوگیری از انتقال گرما استفاده می‌شود؟

۲ــ همرفت یا کنوکسیون[1] ـ در مایعات و گازها که اغلب رساناهای خوبی نیستند انتقال گرما به‌وسیلهٔ جریانی از مایع یا گاز صورت می‌گیرد. این جریان در اثر اختلاف دما بین دو نقطهٔ درون آنها برقرار می‌شود و تا وقتی که اختلاف دما وجود دارد ادامه می‌یابد و هر قسمت از مایع یا گاز در ضمن این جریان به‌نوبه خود با گرمکن مستقیماً تماس پیدا می‌کند و گرم می‌شود و گرما را با خود به جایی که دمایش کمتر است منتقل می‌کند. روش انتقال گرما را به وسیلهٔ جریانی از مایع یا گاز همرفت یا کنوکسیون نامند. موقعی که مایعی یا گازی از پایین گرم می‌شود جریان همرفتی خودبه‌خود برقرار می‌گردد. مثلاً در یک اتاق هنگامی که بخاری روشن است یا رادیاتور دستگاه شوفاژ گرم است در هوای درون اتاق، جریان همرفتی به وجود می‌آید، بدین سان که هوای مجاور بخاری یا رادیاتور گرم می‌شود و انبساط می‌یابد و سبکتر از هوای محیط اطراف خود می‌شود و درنتیجه هوای سرد جای آن را می‌گیرد و آن را به طرف بالای اتاق می‌راند و این روش ادامه می‌یابد و جریان همرفتی را به‌وجود می‌آورد، به طوری که هوای اتاق، قسمت به قسمت، مجاور منبع گرم می‌رسد و به نوبهٔ خود گرم می‌شود و جای خود را به‌هوای سرد می‌دهد.

۳ــ تابش ـ انرژی گرمایی خورشید ازفضای

1ـ Convection



شکل ۱-۱۸- نمایش ساده‌ای از روشهای انتقال گرما .

خالی که بین خورشید و زمین است می‌گذرد و به‌زمین می‌رسد و عاملی که گرمای خورشید را براثرهمرفتی یارسانایی انتقال دهد بین خورشید وزمین وجودندارد. بنابراین روش رسیدن گرمای خورشید به زمین مانند تابیدن نور خورشید به زمین‌است و تابش نامیده‌می‌شود .

چنان که می‌دانید درروش تابش ، انتقال‌انرژی گرمایی به صورت امواج یـا اشعهٔ زیر قرمز است . انتقال انرژی را به صورت امواج دربخش بعدخواهید دید . دراینجا کافی است یادآورشویم که‌اشعهٔ‌زیرقرمز برخلاف اشعهٔ نورانی دیده نمی‌شوند ولی مانند نور انتشار می‌یابند وسرعت انتشارآنها نیز مانند سرعت انتشار نور درخلأ حدود ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتردرثانیه است و برروی‌آینه یا هرجسم صیقلی دیگرنیزمنعکس می‌شوند.

همهٔ اجسام ، چه‌گرم وچه‌سرد ، به طور دائم گرما بایکدیگر به‌روش تابش مبادله می‌کنند. بدیهی است اگر دمای جسمی از دمـای اجسام مجاور خود بیشتر باشد گرما ازآن جسم بـه اجسام دیگر تابش می‌کند و برعکس اگر دمای جسمی از دمای اجسام مجاور خودکمتر باشد گرما دریافت می‌نماید . شکل ۱-۱۸ طرح ساده‌ای از انتقال گرما را به‌سه روش هدایت و همرفتی و تابش مجسم می‌کند .

خودتان آزمایش کنید

۱) تحقیق کنید که سرعت سرد شدن مقدار معینی آب گرم بستگی به اختلاف بین دمای آب و دمای محیط (مثلا هوای اتاق) دارد :

فنجانی را از آب جوش پر کنید و دماسنجی رادرون‌آن بگذارید و به‌آرامی با میلهٔ شیشه‌ای‌آب‌را بهم بزنید و هرسه دقیقه که می‌گذرد دمای آب را ده‌ه، دماسنج بخوانید ویادداشت کنید تا این که دمای آب به

دمای محیط نزدیک شود (مثلاً $25^\circ C$) . سپس نمودار تغییرات دمای آب را با زمان رسم کنید . (زمان را روی محور افقی و دما را روی محور عمود بر آن‌نمایش دهید.) شیب این نمودار در هر نقطه نمایش‌سرعت سرد شدن آب است . وقتی که دما کاهش می‌یابد سرعت سرد شدن چگونه تغییر می‌کند ؟

۲) بازده یک آب‌گرم‌کن الکتریکی را تعیین‌کنید :

اندازهٔ معینی ، مثلاً یک‌لیتر ، آب‌سرد را در یک‌آب گرم‌کن الکتریکی که توان مصرفی آن معلوم‌باشد بریزید و دمای‌آب را اندازه بگیرید . آب گرم‌کن را به برق وصل کنید و دمای‌آب را هر دو دقیقه یک‌بار یادداشت کنید تا این که دمای آن به $90^\circ C$ برسد . مقدار گرمایی را که آب می گیرد برحسب ژول‌حساب کنید و بر زمانی‌که گرم شدن آن طول کشیده است تقسیم کنید . بدین ترتیب سرعت گرم شدن آب برحسب وات به دست خواهدآمد . عددی را که به‌دست می‌آورید با توان الکتریکی مصرفی آب گرم‌کن که روی‌آن نوشته شده‌است مقایسه‌کنید. بدیهی است بازده آب گرم‌کن برحسب مقدار درصد برابر است با :

$$\text{بازده‌آب گرم‌کن} = \frac{\text{توان‌گرم شدن آب}}{\text{توان‌مصرفی آب گرم‌کن}} \times 100$$

نمودار تغییرات دما را با زمان رسم کنید و به کمک این نمودار تحقیق کنید آیا گرم شدن آب با سرعت ثابت انجام می گیرد .

۴) در صورتی که در آزمایشگاه وسیله‌ای برای تحقیق قانون بویل ـ ماریوت در اختیار دارید این قانون را تحقیق کنید .

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) چرا نقاط ثابت دماسنجی برای مدرج کردن دماسنج لازم است ؟

نقاط ثابت دماسنجی را که معمولاً به‌کار می‌روند تعریف‌کنید . چرا برای تعیین نقاط ثابت دماسنجی فشار استاندارد اتمسفر شرط است ؟

۲) سه دلیل قانع‌کننده بیاورید که آب برای دماسنجی مایع مناسبی نیست .

۳) آیا می‌توان یک دماسنج پزشکی را در آب جوش ضدعفونی کرد ؟ با بیان دلیل‌توضیح دهید.

۴) دمای جوش هلیم مایع $-269^\circ C$ است . این دما چند درجهٔ کلوین است ؟

۵) تعریف ضریب انبساط خطی جامد چیست . چه روشی را برای اندازه گیری ضریب انبساط یک میلهٔ فلزی پیشنهاد می‌کنید ؟

۶) آزمایشی را به اختصار شرح دهید که به کمک آن بتوان انبساط خطی یک جامد را مشاهده کرد.

۷) وسط یک صفحهٔ مسی به‌شکل مربع‌مستطیل سوراخ دایره شکلی ایجاد شده است. اگر صفحهٔ‌فلزی را

گرم کنیم قطر سوراخ دایره شکل چه می‌شود ؟

الف- بزرگتر می‌شود .

ب- کوچکتر می‌شود .

ج- تغییر نمی کند.

کدام یك از جوابهای بالا درست است ؟ آیا می‌توانید علت درستی جواب را توضیح دهید؟

۸) قطر یك گلوله مسی در دمای معمولی برابر قطر یك‌حفره دایره‌ای شکل است که دروسط یك ورقه مسی ایجاد شده است به‌طوری‌که گلوله از حفره می گذرد . اگر گلوله را گرما دهیم ازحفره نمی گذرد ولی اگر ورقه و گلوله را با هم گرما دهیم گلوله باز ازحفره می گذرد. علت را توضیح دهید.

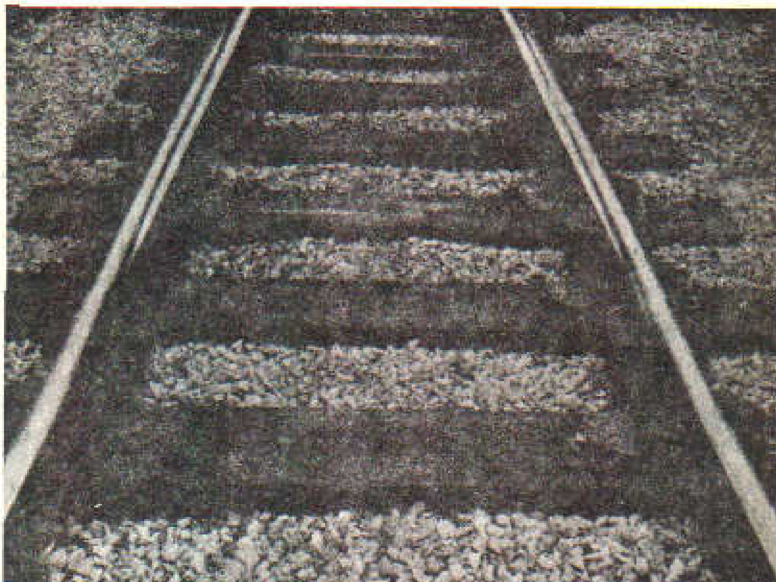
۹) هنگام ریل گذاری راه‌آهن ، در سابق بین قطعات ریل که بـه دنبال هم قرارمی گرفتند کمی فاصله می گذاشتند ولـی امروزه طبق شکل (۱-۱۹) در فاصله‌های مناسب، دوسر ریـل‌ها را در محل اتصال آزاد می گذارند. علت را توضیح دهید.

۱۰) وقتی که یك لولهٔ آلومینیمی گرم شود کدام یك از مشخصات آن که در زیر نام برده شده است افزایش یا کاهش می‌یابد یا بدون تغییر باقی می‌ماند ؟

قطر داخلی ، حجم ، جرم ، جرم‌حجمی .

۱۱) وقتی‌که می گوییم ضریب انبساط خطی‌آهن $۰/۰۰۰۰۱۲/°C$ است معنی‌آن چیست؟

۱۲) با شکل نشان دهید که چگونه دوفلز باضریب انبساط مختلف را باید بهم متصل کرد تا بتوان‌آن



شکل ۱-۱۹ ـ دوسر ریل‌ها در محل اتصال آزاد است.

را به صورت ترموستا به کار برد .

۱۳) نموداری رسم کنید که تغییرات حجم مقدار معینی آب را وقتی که دمای آن از نقطهٔ جوش تا نقطهٔ انجماد تغییر می کند به طور تقریب نشان دهد .

۱۴) جرم حجمی آب وقتی که دمای آن مثلا از $15^\circ C$ تا $5^\circ C$ تغییر کند چگونه تغییر می نماید ؛

۱۵) توضیح دهید چگونه دماسنج را برحسب درجه‌بندی سلسیوس وفارینهایت مدرج می کنند.

۱۶) اگر دریك دماسنج، درجه θ_C از درجه بندی سلسیوس منطبق بر درجه θ_F از درجه‌بندی‌فارنهایت باشد باتوجه به این که ۱۰۰ درجه سلسیوس معادل ۱۸۰ درجه فارینهایت است چه رابطه‌ای بین θ_C و θ_F برقرار است؟

۱۷) فرض کنید در دماسنج به جای جیوه آب بود . توضیح دهید در حالات زیر سطح آب در لولهٔ دماسنج چگونه تغییرمی کرد :

الف- وقتی که دما از $5^\circ C$ به $4^\circ C$ می‌رسید .

ب- وقتی که دما از $4^\circ C$ به $3^\circ C$ می‌رسید .

ج- وقتی که دما از $2^\circ C$ به $3^\circ C$ می‌رسید .

اگر دماسنج $4^\circ C$ را نشان‌می‌داد و دما تغییرمی کرد چرا دماسنج نمی‌توانست تعیین کندکه‌دما افزایش یا کاهش یافته است ؛

۱۸) دو دماسنج دارای مقدار جیوهٔ مساوی هستند ولی لولهٔ یکی باریکتر از دیگری است . کدام‌یك ازاین دو دماسنج به تغییرات جزئی دما حساس‌ترند ؛ توضیح دهید .

۱۹) ظرفیت گرمایی ویژه را تعریف کنید .

۲۰) توضیح دهیدکه چگونه دریا به علت زیاد بودن ظرفیت گرمایی ویژهٔ آب ، در معتدل نگاه‌داشتن هوای مناطق اطراف خود مؤثر است .

۲۱) حالتی را توضیح دهیدکه درآن حالت با آن‌که جسم جامد گرما دریافت می کند تغییردمانمی‌دهد.

۲۲) یك قطعه یخ ۱۰ — درجه سلسیوس را در یك استخر پر از آب صفر درجه می‌اندازند، پس از برقرار شدن تعادل گرمائی:

۱- دمای آب صفر درجه باقی می‌ماند وجرم یخ افزایش می‌یابد.

۲- تمام یخ ذوب می‌شود و دمای آب از صفر درجه پائین‌تر می‌رود.

۳- قسمتی از یخ ذوب می‌شود و دمای آب صفر درجه می‌ماند.

۴- دمای آب از صفر درجه پائین‌تر می‌رود و جرم یخ ثابت می‌ماند.

در جواب درست بحث کنید.

۲۳) جرم حجمی گازی در فشار P و دمای مطلق T برابر μ است . اگر فشار و دمای مطلق این

گاز هریک دوبرابر شود جرم حجمی آن برابر خواهد شد با:

۱- $\frac{\mu}{2}$ ۲- μ ۳- 2μ ۴- 4μ

۲۴) اگر هم حجم و هم دمای مطلق مقدار معینی از یک گاز کامل نصف شود فشار آن:

۱- ثابت می‌ماند ۲- نصف می‌شود ۳- ربع می‌شود ۴- دوبرابر می‌شود

در جواب درست بحث کنید.

این مسئله‌ها را حل کنید

ظرفیت گرمایی ویژهٔ اجسامی را که در پاره‌ای از این مسائل لازم است در جدول ۱-۱ بیابید.

۱) چند ژول گرما لازم است تا دمای ۱۰۰۰ کیلوگرم آب دریا را $20°C$ بالا ببرد.

۲) ۱۰۸ ژول گرما لازم است تا دمای ۹ گرم طلا را از $0°C$ به $100°C$ برساند. گرمای ویژهٔ طلا را به $\frac{\text{ژول}}{\text{کیلوگرم.درجهٔ C}}$ حساب کنید.

۳) یک قطعه سرب به جرم معین با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به مانع سختی برخورد کرده و متوقف می‌شود. اگر تمام انرژی جنبشی آن به گرما تبدیل شود و گرمای حاصل صرف گرم کردن خودقطعه‌سرب شود دمای آن چند درجهٔ سلسیوس بالا می‌رود؟

۴) یک قطعه آهن به جرم $0/5kg$ و دمای $80°C$ را در $1kg$ آب‌صفر درجه فرو می‌بریم. اگر اتلاف گرما ناچیز باشد دمای تعادل نهایی آهن و آب چند درجهٔ سلسیوس خواهد شد؟

۵) طول یک لولهٔ مسی در دمای $5°C$ برابر ۱۵ متر است. اگر در اثر جریان آب گرم‌دمای آن به $60°C$ برسد، افزایش طول لوله را حساب‌کنید.

ضریب انبساط طولی مس $\lambda = 1/7 \times 10^{-5}/°C$ است.

۶) دوتیغهٔهم طول یکی ازآهن ودیگری از برنج که طول هر یک در دمای معمولی ($20°C$) برابر $10cm$ است روی هم‌جوش خورده‌اند. تیغهٔ برنج را تا $820°C$ و تیغهٔ آهن را تا $770°C$ گرم می‌کنیم اختلاف طول دو تیغه را در این حالت حساب کنید. ضریب انبساط طولی برنج $1/9 \times 10^{-5}/°C$ و ضریب انبساط طولی آهن $1/2 \times 10^{-5}/°C$ است.

۷) طول یک میلهٔ فلزی در دمای $200°C$ برابر ۱۰۰ سانتیمتر است. در کدام دما طول میله برابر $99/4cm$ خواهد شد؟ ضریب انبساط طولی میله $2 \times 10^{-5}/°C$ است.

۸) میان یک صفحهٔ فلزی به‌شکل مربع که طول هرضلع‌آن درصفر درجه سلسیوس ۱۰۰ سانتیمتر است سوراخ دایره‌ای شکلی به‌قطر ۴۰ سانتیمتر ایجاد شده است:

الف : درجه دمایی طول هرضلع این صفحه ۱۰۱ سانتیمتر می‌شود ؟
ب : دراین دما قطر سوراخ چند سانتیمتر خواهد شد ؟
ضریب انبساط طولی فلز $12/5 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ است .

۹) قطر درونی یك حلقهٔ برنجی $15/94cm$ است . در همین دما قطر بیرونی یك قرص دایره‌ای شکل ۱۶ سانتیمتر است . دمای حلقهٔ برنجی را حداقل چند درجهٔ سلسیوس بالا ببریم‌تا قرص درون حلقه جای‌گیرد ؟ ضریب انبساط طولی برنج $19 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ است .

۱۰) اختلاف طول دو میلهٔ برنجی وآهنی‌در دمای $10^{\circ}C$ برابر $1/4mm$ است. طول‌میلهٔ آهنی چند سانتیمتر باید باشد تااختلاف طول‌آنها در دمای ۱۰۰درجهٔ سلسیوس بازهم $1/4mm$ بشود؟ ضریب انبساط طولی برنج $19 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ و ضریب انبساط خطی آهن$12 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ است .

۱۱) جرم حجمی نقره دردمای صفر درجهٔ سلسیوس $10/5g/cm^3$ است. مطلوب است‌جرم‌حجمی نقره در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس .
ضریب انبساط طولی نقره $1/8 \times 10^{-5}/^{\circ}C$ است .

۱۲) یك لیتر هوای $10^{\circ}C$ تا $80^{\circ}C$ گرم شده است و فشار آن درمدت گرم شدن ثابت مانده است . حجم آن چه اندازه افزایش یافته است ؟

۱۳) درون استوانه‌ای به حجم ثابت ۲۰ لیتر ، مقداری گاز اکسیژن در دمای $13^{\circ}C$ موجود است و فشارسنج فشار آن را ۱۵ اتسفر نشان می‌دهد .
الف- اگر دمای‌گاز به $0^{\circ}C$ برسد فشار آن به چند اتسفر خواهد رسید .
ب- مقداری گاز درون استوانه به‌مصرف می‌رسد به‌طوری‌که درهمان دمای $13^{\circ}C$ فشار گاز باقیمانده ۱۱ اتسفر می‌شود. حجم گازی که به‌مصرف رسیده است در فشار یك‌اتمسفر و همان دما چه اندازه است؟

۱۴) تا چه دمایی باید ۲ لیتر هوای $17^{\circ}C$ را گرم کرد تا در فشار ثابت حجم آن ۳ لیتر بشود .

۱۵) در ظرف استوانـه‌ای شکلـی زیر یك پیستون به‌وزن ناچیز ، یك لیتر هـوا در شرایط محیط محبوس و به‌حال تعادل است. پیستون می‌تواند بدون اصطکاك درون استوانه حرکت کند وسطح آن ۵۰ سانتیمتر مربع است. به‌اندازه ۷۵کیلو گرم وزنه روی این پیستون می گذاریم، درنتیجه پیستون به‌اندازه l سانتیمتر پائین می‌آید و دوباره به‌حال تعادل قرار می گیرد وهوای درون استوانه دمای اولیه خود را باز می‌یابد. اگر فشار هوای محیط ۱ کیلو گرم نیرو برسانتیمتر مربع باشد تغییر مکان l را حساب کنید.
جواب: ۱۲ سانتیمتر

۱۶) لیوانی به‌جرم ۲۰۰گرم و به‌ظرفیت گرمائی ویژه$0/2 \frac{\text{کالری}}{\text{گرم . درجه(سلسیوس)}}$ محتوی‌۱۶۰گرم‌آب بوده و دمای تعادل آب و لیوان ۲۰ درجه سلسیوس است. برای سردکردن آب، ۱۰ گرم یخ صفر درجه را که خوب خشك کرده‌ایم در آن می‌اندازیم. اگر در مدتی‌که یخ ذوب می‌شود لیوان و آب محتوی‌آن

$\frac{1}{5}$ گرمائی را که در نتیجهٔ سرد شدن از دست می‌دهد از محیط خارج دریافت دارد دمای نهائی لیوان و آب محتوی آن را حساب کنید. گرمای ذوب یخ ۸۰ $\frac{\text{کالری}}{\text{گرم}}$ وظرفیت گرمائی‌ویژهٔ‌آب ۱ $\frac{\text{کالری}}{\text{گرم . درجه(سلسیوس)}}$ است.

جواب: ۱۶°C

۱۷) ۲۵۰ گرم آب ۱۰ درجهٔ سلسیوس را که در ظرفی ریخته شده است درون یخچال می گذاریم. چند ژول گرما باید توسط یخچال از این آب گرفته شود تا به یخ صفر درجه تبدیل گردد؟ گرمای انجماد یخ برابر ۳۳۶ $\frac{\text{کیلوژول}}{\text{کیلوگرم}}$ است .

پاسخ به پرسشهای متن ·

۱ـ۱) خورشید منبع اصلی ایجادگرماست. در روی زمین نیز منابع تولیدگرما مانند نفت، گازهای طبیعی، زغال سنگ، چوب و . . . وجود دارد. در گذشته دیدید که انرژی مکانیکی ضمن‌اصطکاک به گرما تبدیل می‌شود . سایر اقسام انرژی نیز ، مانند انرژی مکانیکی به گرما تبدیل می‌شوند .

۱ـ۲) در جامدات مولکولها خیلی به‌هم نزدیکند و در اطراف وضع تعادل پایدار خود دارای حرکت ارتعاشی هستند . در مایعات مولکولها اطراف وضع تعادل ناپایدار و زودگذر خود مرتعش می گردند و هر مولکول می‌تواند آزادانه از میان مولکولهای دیگر بگذرد .

در گازها حرکت مولکولها از مولکولهای مایع هم آزادتر است .

۱ـ۳) وقتی‌که گازی را متراکم می‌کنیم مقداری کار به آن می‌دهیم . این کار صرف افزایش‌انرژی درونی گاز می‌شود و دمای آن را بالا می‌برد . در مثال تلمبهٔ دوچرخه مقداری گرما نیز در اثر اصطکاک پیستون با بدنهٔ تلمبه ایجاد می‌شود .

۱ـ۴) گرما صرف ذوب شدن یخ و تبدیل آن به آب می‌شود .

۱ـ۵) میز چوبی گرمایی را که از دست دریافت می‌کند درهمان محل تماس میز با دست نگه می‌دارد زیرا چوب نارساناست ولی میز آهنی گرمای دست را به همهٔ نقاط میز انتقال می‌دهد زیرا آهن رساناست و به همین‌دلیل میزچوبی گرمتر حس می‌شود .

۱ـ۶) به دو دلیل : نخست آن‌که اتفاق می‌افتد که دمای قسمتی ازآب‌که مجاور منبع تولید گرماست بالاتر رود و در اثر آشفتگی که در عمل جوش پدید می‌آید در نقطهٔ ثابت بالایی نیز آشفتگی پیدا شود . دوم آن‌که ناخالصی که به صورت مواد محلول در آب وجود دارد دمای جوش آب را بالا ببرد .

۱ـ۷) معمولا همان درجه‌بندی بین‌صفر وصد را بالای ۱۰۰ و زیر صفر ادامه می‌دهند و دماهای‌بیشتر

از صد و کمتر از صفر را اندازه می‌گیرند.

۱-۸) $T = ۲۷۳ + ۳۷ = ۳۱۰ K$

۱-۹) دماسنج الکلی.

۱-۱۰) نه. زیرا اولا آب در صفر درجه یخ می‌بندد. ثانیاً حجم آب بین صفر درجه و چهار درجه کاهش می‌یابد.

۱-۱۱) در مدت روز دمای خشکی در اثر تابش خورشید از دمای دریا بالاتر می‌رود زیرا ظرفیت گرمایی ویژهٔ خاك کمتر از آب است. علاوه براین سطح دریا در اثر حرکت امواج دائماً بهم می‌خورد و لایهٔ آب گرم سطح دریا با لایه‌های سرد زیر مخلوط می‌شود. بنابراین هوای مجاور خشکی گرم شده و انبساط می‌یابد و بالا می‌رود و هوای سرد روی دریا به‌طرف خشکی حرکت می‌کند تا جای آن را بگیرد. به عبارت دیگر باد از دریا به خشکی می‌وزد. در شب، برعکس، سطح خشکی بـه سرعت سرد می‌شود در صورتی که دمای دریا تغییر محسوسی نمی‌کند و هوای بالای دریا از هوای بالای خشکی گرمتر می‌شود و باد از خشکی به دریا می‌وزد.

۱-۱۲) ضریبهای انبساط طولی سیمان و آهن تقریباً باهم برابرند و بنـابراین آهن و سیمان در اثر تغییر دما به یك اندازه انبساط یا انقباض می‌یابند.

۱-۱۳) تیغهٔ مسی قوس درونی و تیغهٔ آهنی قوس بیرونی را تشکیل می‌دهد زیرا تیغهٔ مسی بیش‌ازتیغهٔ آهنی منقبض می‌شود.

۱-۱۴) ضریب انبساط کوارتز خیلی‌کمتر از جیوه است و دراثر تغییر دما، حجم آن نسبت به‌جیوه تغییر محسوسی نمی‌کند.

۱-۱۵) پیستون بالا می‌رود و حجم گاز افزایش می‌یابد.

۱-۱۶) نه. زیرا به‌فرض این‌که فـاصلهٔ بین مولکولها صفر شود، چـون هر مولکول دارای حجم ویژه‌ای است حجم گازکه از تعداد زیادی مولکول تشکیل یافته است صفر نخواهد شد. علاوه براین پیش‌از آن‌که دمای گاز به صفر مطلق برسد، گاز نخست به مایع و سپس به‌جامد تبدیل می‌شود.

۱-۱۷) در رابطهٔ «مقدارثابت $= \frac{PV}{T}$»، در صورتی‌که T نیز مقدار ثابتی باشد داریم:

$$PV = \text{مقدارثابت} \qquad (\text{قانون بویل-ماریوت})$$

و در صورتی که فشار گاز مقدار ثابتی باشد داریم:

$$\frac{V}{T} = \text{مقدارثابت} \qquad (\text{قانون شارل- گیلوساك})$$

۱-۱۸) در صورتی‌که حجم گازی به‌هنگام تغییر دما ثابت بماند رابطهٔ «مقدارثابت $= \frac{PV}{T}$» به‌صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{P}{T} = \text{مقدار ثابت}$$

این رابطه تغییرات فشار گاز را با دما ، وقتی که حجم آن ثابت باشد نشان می‌دهد .

۱-۱۹) بلی . مانند حالت ذوب دما ثابت می‌ماند و گرمایی که جسم به هنگام ذوب گرفته است در مدت انجماد پس می‌دهد .

۱-۲۰) الف- گرمایی که لازم است تا ۱۰ گرم (۰٫۰۱۰ کیلوگرم) یخ صفر درجه را به آب صفر درجه تبدیل کند :

$$Q_1 = ۰٫۰۱۰ \times ۳۳۶۰۰۰ = ۳۳۶۰ \text{ ژول}$$

ب- گرمایی که لازم است تا ۱۰ گرم آب صفر درجهٔ حاصل را به دمای جوش ۱۰۰°C برساند :

$$Q_2 = ۰٫۰۱۰ \times ۴۲۰۰(۱۰۰ - ۰) = ۴۲۰۰ \text{ ژول}$$

ج- گرمایی که لازم است تا ۱۰ گرم آب ۱۰۰° را به بخار ۱۰۰° تبدیل کند :

$$Q_3 = ۰٫۰۱ \times ۲۲۶۰۰۰۰ = ۲۲۶۰۰ \text{ ژول}$$

کل گرمای لازم برابر است با :

$$Q = ۳۳۶۰ + ۴۲۰۰ + ۲۲۶۰۰ = ۳۰۱۶۰ \text{ ژول}$$

۱-۲۱) مولکولهای قسمتی از میله که گرم می‌شوند تندتر حرکت می‌کنند و به مولکولهای مجاور خود برخورد می‌کنند وحرکت آنها را تندتر می‌کنند و این مولکولها نیز بەمولکولهای مجاورخودبرخورد کرده و حرکت آنها را تند می‌کنند . بدین ترتیب انرژی گرمایی مولکول بەمولکول انتقال می‌یابد و در سرتاسر میله پخش می‌شود .

۱-۲۲) دستهٔ پاره‌ای از اسبابهایی که گرم می‌شوند مانند اتو، سماور ، ظرفهای آشپزخانه ، جدار یخچالها و سردخانه‌ها . . .

۲

ماهیت نور

دانشمندان همواره با این معما روبه‌رو بوده‌اند که «ماهیت نور» چیست. درقرن هفدهم میلادی دو نظریهٔ کاملا متفاوت دربارهٔ ماهیت نور رواج یافت: نیوتن معتقدبود که نورجریانی ازذرات بسیارکوچك ماده است که ازچشمهٔ نورخارج شده به‌خط مستقیم درفضا پخش می‌شوند. کریستیان هوی‌گنس[1] فیزیك‌دان و اخترشناس هلندی برخلاف نیوتن معتقد بود که نورحرکت موجی درمحیطی کشسان به نام «اتر»[2] است که همه جای فضا حتی بین اتمهای ماده را پرکرده است. تناقض بین این‌دو نظریه دویست سال‌ادامه داشت. درقرن نوزدهم میلادی، نظریهٔ موجی باقاطعیت (ولی نه به‌طورنهایی) برنظریهٔ ذره‌ای نیوتن غالب آمد.

نظریهٔ موجی بودن نورکه توسط ماکسول[3] دانشمند انگلیسی به روش بهتری بیان شده است نشان می‌دهدکه امواج نور از جنس امواج رادیویی است‌که در خلأ هم منتشر می‌شوند و تصور «اتر» باطل است. با وجود این درپاره‌ای ازموارد رفتار نورچنان است که به نظرمی‌رسد به‌جای موج ازبسته‌های بسیارکوچك و مستقل انرژی تشکیل‌یافته است. بنابراین نوربه‌ظاهردو رفتارمتفاوت نشان می‌دهد: در بعضی از پدیده‌ها چنان رفتار می‌کندکه موج بـه‌نظر می‌اید و در بعضی از موارد ذرات سریع انرژی. ولی دربسیاری از کاربردها می‌توانیم ماهیت موجی یا ذره‌ای بودن نور را نادیده بگیریم و نوررا همچون پرتوهایی بنگریم که ازچشمهٔ مولد نور به‌خط راست منتشر می‌شوند.

دراین‌بخش دربارهٔ پاره‌ای ازخواص نورکه به‌شناسایی ماهیت آن کمك می‌کنند بررسی کوتاهی خواهیم‌کرد.

۱- Christian Huygens ۲- Ether ۳- Maxwell

نور صورتی از انرژی است

نور می‌تواند برروی ماده کار انجام دهد.

آزمایشهای خیلی‌ظریف ودقیق‌نشان می‌دهند که نور فشارضعیفی وارد می‌سازد که می‌تواند ماده را به حرکت درآورد. در سلول فتوالکتریك (چشم الکتریکی) تابش‌نور، برروی صفحه‌ای‌که درمقابل نور حساس است، سبب خارج شدن الکترونها از صفحه می‌شود. در این عمل نور کار انجام می‌دهد و این کار به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. در گیاهان سبز انرژی نورانی به‌انرژی شیمیایی، که برای نمو گیاه لازم است، تبدیل می‌شود. می‌دانید که‌انرژیهای دیگر، مثلاانرژی الکتریکی، گرمایی، شیمیایی،... نیز به نور تبدیل می‌شوند. این واقعیتها نشان می‌دهندکه نورهم صورتی از انرژی است.

پرسش ۲-۱ - در چراغ برق و آتش، چه صورتی ازانرژی برای تولید نور مصرف می‌شود؟

نور و دیدن

ما جسمی را هنگامی می‌بینیم که نور از آن جسم وارد چشممان شود. جسمی که دیده می‌شود یا خود تولید نور می‌کند در این صورت منیر نامیده می‌شود. مانند خورشید، ستارگان، چراغ برق و...، یا نور ازچشمهٔ نور برآن می‌تابد و در این صورت غیرمنیر نامیده می‌شود. بخشی ازاین‌نور از روی جسم برمی‌گردد. به‌عبارت دیگر، بازتابیده می‌شود. اگر نور بازتابیده به چشم ما برسد جسم را خواهیم دید. بیشتر چیزهایی‌که همواره دوروبر ما دیده می‌شونداجسام غیر منیری هستندکه به‌علت بازتاب نور از رویشان دیده می‌شوند. ماه وسیاره‌ها نیزاجسام غیرمنیرهستندکه ازخورشید نورمی‌گیرند وبخشی ازآن را پخش می‌کنند.

پرسش ۲-۲- چراغ برق هنگامی‌که روشن نیست چگونه جسمی است؟

عبور وجذب نور

نوری‌که از یك جسم به چشم می‌رسد معمولا ازهوا یا مادهٔ دیگری‌که بین چشم وجسم‌است می‌گذرد. اگر مادهٔ بین چشم وجسم چیزی مانند هوا یا شیشه باشد جزءکوچکی ازنور جذب آن می‌شود ولی قسمت بیشتر نور، بی آن‌که انحراف زیادی داشته باشد، از آن می‌گذرد. با رسیدن این نور به چشم، جسم به‌طور وضوح دیده می‌شود.

می‌دانید اجسامی مانند هوا، شیشه، آب و سلوفان[1] که نور به خوبی از آنها می‌گذرد اجسام شفاف نامیده می‌شوند و از پشت آنها اشیا به‌طور وضوح دیده می‌شوند. پاره‌ای از مواد نور را از خود می‌گذرانند ولی طوری مسیر پرتوها را کج می‌کنند که از پشت آنها اشیا دیده نمی‌شوند. این گونه اجسام را نیم شفاف یا مات می‌گویند مانند ورقهٔ نازك کاغذ، شیشهٔ مات وحبابهای شیری‌رنگ روی لامپهای برق. بعضی از اجسام به کلی مانع عبور نور می‌شوند مانند ورقهٔ فلزیا دیواراتاق‌و... این‌گونه اجسام را کدرگویند. معمولا از نوری که بر روی جسم کدر می‌تابد بخشی بازتابیده می‌شود و بخشی هم جذب آن می‌گردد.

۱- Cellophane مادهٔ شفافی‌که ازسلولز ساخته‌می‌شود ودرصنعت‌کاربرد زیادی ازجمله درتهیهٔ فیلم‌دارد.

پرسش ۲-۳- انرژی نورانی که جذب یك جسم می‌شود به‌چه صورت ظاهرمی گردد؟

پرسش ۲-۴- به‌نظرشما میزان درصد انرژی نورانی که در یك جسم جذب می‌شود به‌چه عواملی می‌تواند بستگی‌داشته باشد؟

سرعت نور

عبور نور خورشید از ۱۵۰ میلیون‌کیلومتر فضای خالی بین زمین و خورشید نشان می‌دهد که نور می‌تواند درخلأ منتشر شود. سرعت نور در خلأ در حدود ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر برثانیه است و نخستین‌بار توسط رومر[1] اخترشناس دانمارکی به هنگام مطالعهٔ حرکت ماههای سیارهٔ مشتری معین شده است. رومر کشف کردکه نوری که از ماههای مشتری به‌زمین می‌رسد مسافتی‌درحدود ۳۰۰میلیون کیلومتر، یعنی قطر مدار زمین به دور خورشید را در تقریباً ۱۰۰۰ ثانیه می‌پیماید. اگر مسافت ۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰ کیلومتر را بر ۱۰۰۰ تقسیم کنیم سرعت نور در خلأ ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه می‌شود. (در سالهای بعد روش دقیق اندازه‌گیری سرعت نوررا خواهید آموخت). سرعت نوردرخلأ بزرگترین سرعتی است که انرژی (یعنی نوعی از ماده)می‌تواندداشته باشد. سرعت نور درهواجزئی کمتر ازسرعت آن درخلأ است ولی سرعت آن در مواد شفاف دیگر کاهش چشمگیری رانشان می‌دهد. مثلا سرعت نوردرآب تقریباً $\frac{3}{4}$ سرعت‌آن درخلأ و درالماس‌کمتر ازنصف سرعت آن درخلأ است.

رنگ نور

می‌دانیدکه‌نوردارای رنگهای گوناگون‌است. نمونه‌های رنگی نوررا می‌توانیدباگذراندن‌دسته‌ای از پرتوهای نور خورشید یا نور چراغ ازیك مادهٔ شفاف رنگی مشاهده‌کنید. مثلا وقتی که دسته‌ای از پرتوهای نورسفید[2] به یك صفحهٔ شیشه‌ای قرمز رنگ بتابد نوری که از شیشه خارج می‌شود به رنگ قرمز است. اگر همین دسته پرتو به شیشهٔ سبزرنگ بتابد نوری که از آن خارج می‌شود به رنگ سبز است و اگر به شیشهٔ آبی رنگ بتابد نور خروجی به رنگ آبی است. به‌طورکلی، نوری که‌از یك مادهٔ شفاف رنگی‌خارج‌می‌شود همواره به رنگ آن ماده است.

از این مشاهده‌ها دو نتیجه گرفته می‌شود: نخست آن‌که نورسفید مخلوطی از نورهای رنگی است.

دوم آن که یك مادهٔ شفاف رنگی فقط نور همرنگ خود را عبور می‌دهد وبقیهٔ رنگها را جذب می‌کند. مثلاوقتی‌که نورسفید به‌شیشهٔ قرمزمی‌تابد این شیشه تنها رنگ قرمز نورسفید را از خودمی‌گذراند و رنگهای دیگر را جذب می‌کند. بنابراین می‌توان پیشگویی کردکه اگر نور قرمزرنگ بر یك شیشه به رنگ سبز بتابد باید جذب شود ونوری‌از آن خارج نگردد وآزمایش این را تأیید می‌کند.

۱- Roemer

۲- نورسفید به مفهومی‌که ما از رنگ سفید واقعی داریم نیست ولی این اصطلاح در مورد نوری که رنگی نیست به‌کار رفته است و ما هم ناچار آن را به‌کار می‌بریم.

قابلیت یک مادهٔ شفاف درعبور دادن یک رنگ وجذب رنگهای دیگر عبور انتخابی نامیده می‌شود. این قابلیت بستگی بـه جنس ماده و نوع پرتوهای تـابنده دارد وشما بـه تدریج این مطلب را بهتر خواهید آموخت.

رنـگ اجسام کدر

رنگ یک جسم کدر به رنگ نوری است که از روی آن به‌سوی چشم باز می‌تابد. مثلا وقتی که نور سفید برروی یک تکه پارچهٔ قرمز می‌تابدپارچه فقط قسمت قرمزرنگ نور سفید را بـاز می‌تاباند و رنگهای دیگر را جذب می‌کند.

قابلیت یک جسم کدر در باز تاباندن یک رنگ و جذب رنگهای دیگر نور بازتاب انتخابی نامیده می‌شود. به‌طورکلی رنگ اجسام کدر به‌علت بازتاب انتخابی است.

یک کتاب که جلدآبی دارد وقتی که بانورسفید روشن شود آبی بـه‌نظر می‌رسد، زیرا، قسمت آبی رنگ نورسفید را باز می‌تاباند ورنگهای دیگرآن‌را جذب می‌کند. کتاب جلدآبی اگر با نورآبی روشن شود همین رنگ را باز می‌تاباند و باز هم به‌رنگ آبی دیده می‌شود ولی اگر با رنگهـای دیگر نور سفید، به‌جز آبی، روشن شود تقریباً تمام نوری را که برآن می‌تابد جذب می‌کند وتیره به‌نظرمی‌رسد، مثلا وقتی که نور قرمز برجلد آبی رنگ کتاب بتابد جذب می‌شود و نوری به طرف چشم باز نمی‌تابد، درنتیجه تیره به نظر می‌رسد.

پرسش ۲-۵- اگر با عینکی که شیشه‌های آن سبز است به جسم قرمز رنگی نگاه‌کنیم به‌چه رنگ دیده می‌شود؟ علت را توضیح دهید.

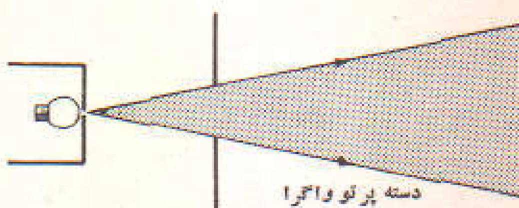
اگرچشم از جسمی هیچ نوردریافت نکندآن را به رنگ سیاه می‌بیند و اگر جسمی همهٔ رنگهای نورسفید را که بر آن می‌تابد باز بتابانـد به رنگ سفید دیده می‌شود. چنین جسمی درنور سفیدبه‌رنگ سفید، در نورسبز به‌رنگ سبز ودرنور قرمز به‌رنگ قرمز دیـده خواهد شد یعنی در هرحال رنگ نوری را که برروی آن می‌تابد باز می‌تاباند وبدین سبب به‌آن رنگ دیده می‌شود. درفصل ۷ دربارهٔ رنگهای نورسفید بحث بیشتری خواهیم‌کرد.

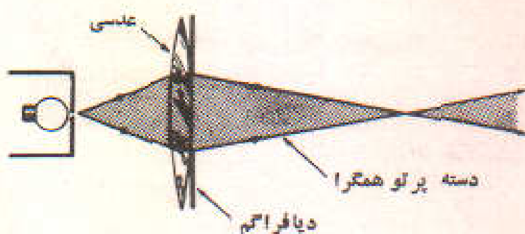
به نظر می‌رسد که نور به‌خط راست می‌گذرد- مسیر پرتوهای نورخورشید که ازمیان ابرها می‌گذرد یا پرتوهای نورشدیدی کـه از پروژکتور سینما درسالن تاریک به روی پرده می‌تابد، به علت وجود ذرات گرد وغبارمعلق درهوا، دیده می‌شود. زیرا نور از روی این ذرات بـاز می‌تابد وبه چشم می‌رسد. چون کناره‌های این‌دسته پرتوها خطراست هستند می‌توان تصور کرد کـه یک دسته پرتو از بی‌نهایت‌خطراست تشکیل‌یافته است‌که با هم‌دسته‌بندی شده‌اند. می‌دانید کـه هر یک از این خطهای تصوری نور را پرتو یا شعاع نور گویند. چون یک پرتو به تنهایی ضخامتی ندارد نمی‌توان آن را در آزمایشگاه تولیدکرد ولی می‌توان به جای آن یک دسته پرتو موازی و خیلی بـاریک در نظر گرفت. مشاهده می‌شود که مسیر این دسته پرتو در هوا و آب و مواد شفاف دیگر، خط راست است. در رسم شکلها، مسیر هر پرتو را با خط راستی که روی آن جهت تابش نور بـا علامت پیکان مشخص می‌شود نشان می‌دهیم.

درحقیقت هر دسته پرتو نورانی جریـانی از انرژی تابشی است که از چشمهٔ نور خارج می‌شود.

بدیهی است انرژیی که یك چشمه نور تابش می‌کند در تمام اطراف آن پخش می‌شود ولی می‌توان یك صفحهٔ کدر سوراخ‌دار جلو چشمهٔ نور گذاشت وازاین سوراخ یك دسته پرتو در راستای دلخواه گسیل داشت وقطر سوراخ وفاصلهٔ صفحه را ازچشمهٔ نور طوری انتخاب کرد که دسته پرتو موازی یا آن که واگرا باشد. با یك‌عدسی‌همگرا (مثلا بایك ذره‌بین) می‌توان مسیر پرتوها را تغییرداد و آنها را همگرا کرد (شکل ۲-۱). اگر قطر سوراخ به‌اندازهٔ کافی کوچك باشد همهٔ پرتوها پس ازخروج از سوراخ از یکدیگر دور می‌شوند. در این حالت چشمهٔ نور را چشمهٔ نقطه‌ای یا به عبارت ساده‌تر نقطهٔ نورانی گویند.







شکل ۲-۱- نمایش دسته پرتوها

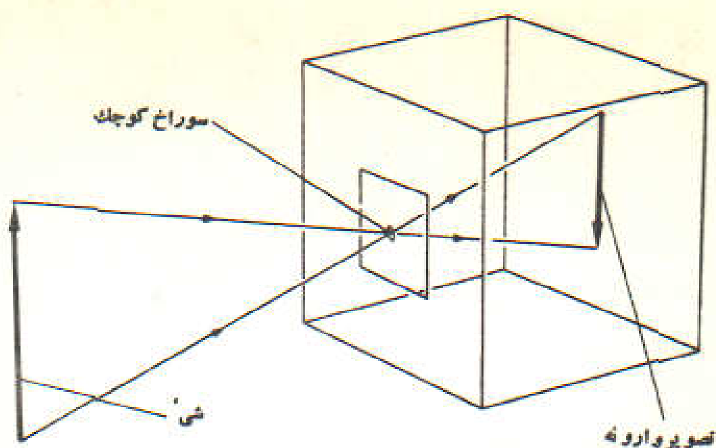
ما معمولا اشیا را درصورتی می‌بینیم که به طور مستقیم درخط دیدچشممان قرارگیرند.

پرسش ۲-۶- چرااجسام واقع درپشت جسم کدری که مقابل چشم ما قرار دارد دیده نمی‌شوند؟

تابش نور به خط راست یکی از مهمترین ویژگیهای نور است‌که رفتار معمولی نور را توجیه می‌کند. برای‌این که به‌نتایج تجربی این رفتار بهتر پی‌ببرید در اینجا چند مثال می‌آوریم:

۱- اتاق تاریك - این اسباب، که آن را دستگاه عکاسی ساده نیزمی‌توانیم بنامیم، یك جعبهٔ سادهٔ مکعب مستطیل شکل است که درمیان وجه جلوی‌آن یك روزنهٔ کوچك(به‌قطر حدودیك‌میلیمتر) و در بدنهٔ مقابل این روزنه یك صفحه کاغذ نیم شفاف یا شیشهٔ مات وجود دارد و درون جعبه تاریك است. هر شیٔ نورانی‌که مقابل روزنهٔ این جعبه قرارگیرد از آن تصویری روی صفحهٔ مات تشکیل‌می‌شودکه نسبت به‌شیٔ وارونه است (شکل ۲-۲). برای این که تصویر روشن‌تردیده شود بهتر این است‌که صفحهٔ مات و سرناظر، زیر پوششی از پارچهٔ سیاه قرار گیرد.

علت تشکیل این تصویر را می‌توان چنین بیان‌کرد: پرتوی که ازیك نقطهٔ شی به طرف‌روزنه گسیل می‌شود و ازآن می‌گذرد پس ازبرخورد به صفحهٔ مات، لکهٔ خیلی کوچك نورانی روی این صفحه تشکیل‌می‌دهدکه‌نمایش تصویرآن نقطه‌است. همهٔ‌پرتوهایی که‌ازنقطه‌های مختلف شیٔ به‌خط‌راست از روزنه می‌گذرند پس از برخورد به صفحهٔ‌مات مجموعه‌ای ازلکه‌های خیلی‌کوچك‌کم یا بیش‌روشن بر روی آن تشکیل می‌دهند که تصویر شیٔ است. تصویری‌که بدین گونه ازتابش‌مستقیم پرتوهای نور



شکل ۲-۲- تشکیل تصویر در اتاق تاریك

به وجود می‌آید تصویر حقیقی نامیده می‌شود.

پرسش ۲-۷- اگر قطر روزنه بزرگ (درحدود سه یا چهار میلیمتر) یا خیلی کوچك (درحدود یك دهم میلیمتر) باشد تصویر مبهمی برروی صفحه تشکیل می‌شود. آیا می‌توانید علت را توضیح دهید؟

چنانچه ازمحل روزنه خطی عمود برشی و تصویر رسم کنیم ازتشابه دومثلث (که رأس مشترك آنها روی روزنه وقاعدهٔ آنها به‌ترتیب طول تصویر وشیٔ است) نتیجه گرفته می‌شود:

$$\frac{\text{طول تصویر}}{\text{طول شیٔ}} = \frac{\text{فاصلهٔ تصویر از روزنه}}{\text{فاصلهٔ شیٔ ازروزنه}} \qquad (۲-۱)$$

این نسبت را بزرگنمایی اسباب گویند. هرچه شیٔ به روزنه نزدیکتر شود تصویر آن بزرگترمی‌گردد.

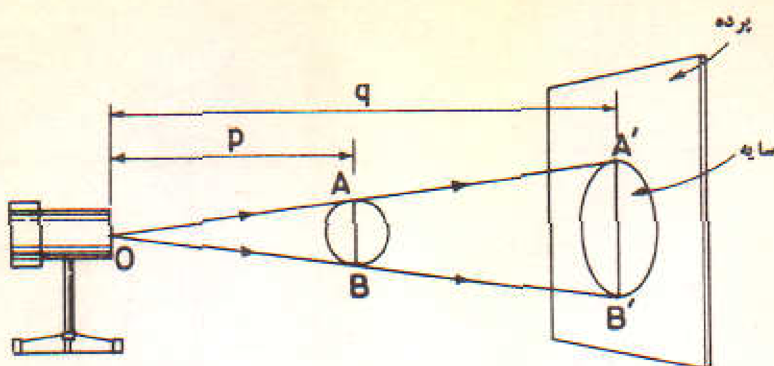
پرسش ۲-۸- با توجه به رابطهٔ ۲-۱ بگویید چرا چنین است؟

اگر به‌جای صفحهٔ مات یك فیلم یا یك شیشهٔ حساس عکاسی قرار داده شود می‌توان با این اسباب ساده درمدت مناسب ازمناظر عکس گرفت. شکل ۲-۳ یك نمونه ازعکسهایی را که با این اسباب گرفته شده است نشان می‌دهد.

اتاق تاریك برای گرفتن عکس فوری مناسب نیست وعکس فوری را باید به‌وسیلهٔ دستگاه عکاسی عدسی‌دار (دستگاه عکاسی معمولی) گرفت زیرا دهانهٔ عدسی خیلی بزرگترازدهانهٔ روزنهٔ این اسباب است وانرژی نورانی بیشتری درواحد زمان به‌روی فیلم می‌تابد.



شکل ۲-۳- نمونهٔ عکسی که به‌وسیلهٔ اتاق تاریك گرفته‌شده‌است



شکل ۲-۴- تشکیل سایه هنگامی که چشمهٔ نور یك نقطهٔ نورانی است.

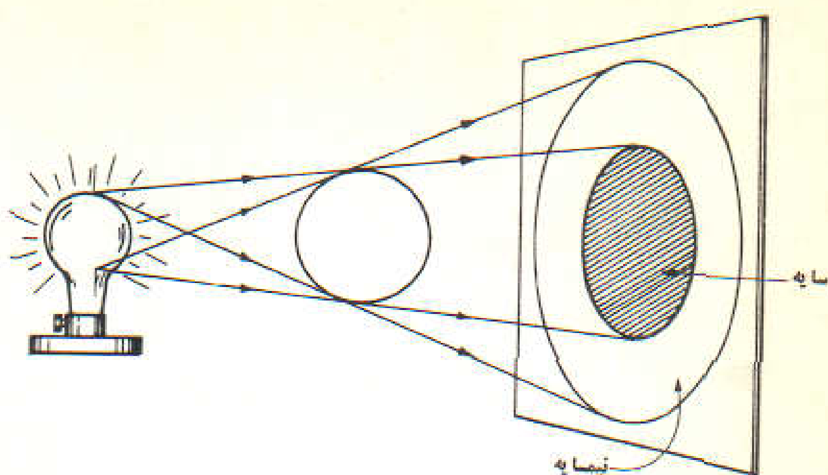
۲- تشکیل سایه - هرگاه یك جسم کدر در مسیر پرتوهایی که از یك چشمهٔ نورپخش می‌شوند قرارگیرد فضای پشت جسم که تاریك می‌ماند سایه نامیده می‌شود. کناره‌های واضح سایه‌ها نشان می‌دهند که پرتوهای نور به‌خط راست می‌گذرند. برای بررسی این موضوع دوحالت را در نظر می‌گیریم: حالتی که چشمهٔ نور خیلی کوچك ودرحکم یك نقطهٔ نورانی است وحالتی که چشمهٔ نور بزرگ است.

الف- تشکیل سایه هنگامی که چشمهٔ نور خیلی کوچك (نقطهٔ نورانی) است - اگر درمسیر نوری که‌ازیك نقطهٔ نورانی‌پخش‌می‌شود جسم کدری که خیلی کوچك نباشد قرارگیرد سایه‌ای که از آن تشکیل می‌شود محدود به پرتوهایی خواهد بودکه ازکناره‌های جسم می‌گذرند (شکل ۲-۴). این‌سایه روی دیوار یا روی یك پرده به صورت سطحی کاملا تاریك دیده می‌شودکه بامرزواضحی ازقسمت‌روشن دیوار یا پرده جدا می‌شود.

پرسش ۲-۹- اگر AB و A'B' (طبق شکل ۲-۴) به ترتیب قطرهای جسم وسایه وp و q به ترتیب‌فاصله‌های آنها ازچشمهٔ نورباشد چه‌رابطه‌ای بین نسبت $\frac{A'B'}{AB}$ و p و q برقرار است؟

ب - تشکیل‌سایه هنگامی که چشمهٔ نور بزرگ است - وقتی که چشمهٔ نور بزرگ باشد (مانند چراغ برق) سایه معمولاازیك قسمت مرکزی تاریك به نام سایهٔ کامل و یك قسمت محیطی به نام نیمسایه تشکیل می‌شود. نیمسایه به تدریج روشن می‌شود و با روشنایی قسمت روشن اطراف خود در می‌آمیزد تابه‌کلی ناپدید شود. اگرچشمهٔ نوروجسم هر دوکروی شکل باشند مرز سایه را می‌توان با رسم‌خطهای مستقیمی (که‌مسیر پرتوهای‌نورهستند) از نقاط بالایی و پایینی چشمه به بالا و پایین جسم مشخص‌کرد (شکل ۲-۵).

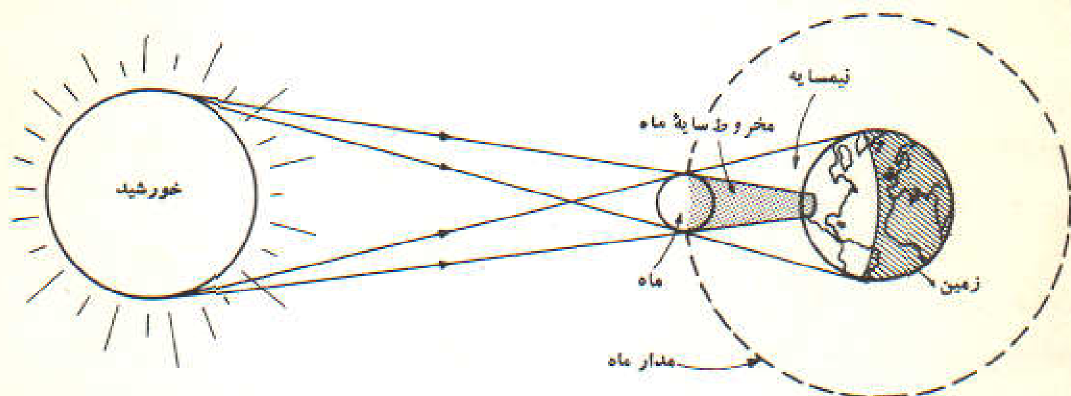
قسمت سایهٔ کامل‌محدود به این دو پرتوبوده و کاملا تاریك‌است زیرا پرتوهایی که ازنقاط مختلف چشمهٔ نور به‌خط مستقیم به طرف آن گسیل می‌شوند به‌جسم‌کدر برخورد می‌کنند و این جسم‌مانع رسیدن آنها به سطح سایه می‌گردد. قسمت نیمسایه که باقی ماندهٔ سطح سایه‌دار را اشغال می‌کند نیمه تاریك است. زیرا پرتوهای نور فقط از قسمتی از چشمهٔ نور به‌آن می‌رسند نه ازهمهٔ چشمه.



شکل ۲-۵- تشکیل سایه و نیمسایه هنگامی‌که چشمهٔ نور بزرگ است.

گرفتن خورشید و ماه

گرفتن خورشید و ماه به‌علت افتادن سایهٔ ماه برروی زمین یاسایهٔ زمین‌برروی ماه است وهنگامی پیش می‌آیدکه ماه وخورشید و زمین بر یک راستا واقع شوند. گرفتن خورشید (کسوف)، وقتی اتفاق می‌افتدکه ماه بین زمین وخورشید واقع شود (شکل ۲-۶). در این حالت سایهٔ ماه روی بخشی از سطح کرهٔ زمین می‌افتدکه قسمتی ازآن سایهٔ کامل و قسمت دیگرآن نیمسایه است. مردمی که‌درقسمت سایهٔ کامل ماه هستند تمام قرص خورشید را گرفته می‌بینند و برای آنان گرفتگی خورشید کامل است. ولی مردمی که در قسمت نیمسایهٔ ماه هستند فقط بخشی‌ازقرص خورشید راگرفته می‌بینند یعنی برای آنان گرفتگی خورشید جزئی است.



شکل ۲-۶- نمایش ساده‌ای ازگرفتن خورشید.

شکل ۲ـ۷ چند مرحله از گرفتن خورشید را تا مرحلهٔ کسوف کامل نشان می‌دهد که به سال ۱۹۷۰ میلادی اتفاق افتاده ودرایالات ویرجینیا در امریکا از آن عکسبرداری شده است.

گرفتن ماه (خسوف) وقتی اتفاق می‌افتد که زمین میان ماه وخورشید واقع شود. در این حالت زمین مانع رسیدن نورخورشید بـه ماه می‌گردد و سایهٔ زمین سطح ماه را می‌پوشاند وآن را مدتی در تاریکی فرو می‌برد.



(۱)



(۲)



(۳)



(۴)

شکل ۲-۷- چند مرحله از جریان گرفتن خورشید تا مرحلهٔ کسوف کامل که درسال ۱۹۷۵ میلادی اتفاق افتاده است.

خودتان آزمایش کنید

۱) بااندازه‌گیری طول سایهٔ یک‌جسم (مثلاً یک درخت یا یک تیر چراغ یا یک ساختمان) ارتفاع آن را معین کنید:

چوبی یا میله‌ای به‌طول مثلاً یک متر را به‌طور قائم روی زمین هموار درآفتاب نصب کنید وطول سایهٔ آن را اندازه بگیرید. سپس به سرعت طول سایه جسم را نیز اندازه بگیرید و ارتفاع جسم را ازاین رابطه حساب کنید:

$$\frac{\text{طول چوب}}{\text{طول سایهٔ چوب}} = \frac{\text{ارتفاع جسم}}{\text{طول سایهٔ جسم}}$$

آزمایش را چند مرتبه تکرار کنید ومیانگین نتایج را به‌دست آورید. بهتر این است که این آزمایش بعد ازظهر هنگامی که طول سایه به اندازهٔ کافی بلند است انجام شود.

۲) بایك جعبهٔ مقوایی (مثلاً جعبهٔ کفش) اتاق تاریك بسازید و طرزتشکیل تصویر یك جسم‌روشن (مانند شمع یا پنجرهٔ اتاق) را درآن مشاهده‌کنید. بررسی کنید که قطرسوراخ درچه حدود باشد تا تصویر واضحی به دست آید. به‌جای یك سوراخ دویا چند سوراخ درآن ایجادکنید و مشاهدات خودرا بنویسید. مسیر پرتوهای نوررا که بیان‌کنندهٔ نتایج آزمایش شما هستند روی صفحهٔ کاغذ رسم‌کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) دومثال بیاورید که نشان دهند نور می‌تواند به انرژیهای دیگر تبدیل شود.

۲) توضیح دهید چگونه ما اشیایی مانند میز وصندلی و... را که خود نور نمی‌دهند می‌بینیم.

۳) غواصان که روز آفتابی در دریا فرو می‌روند اظهار می‌دارند که هر چه پایین‌تر می‌روند آب تاریکتر می‌شود. پس نورخورشید که به‌آب می‌تابد چه می‌شود؟

۴) چگونه باید بدانیم‌که نور ازخلأ می گذرد؟

۵) دوصفحهٔ شیشه‌ای قرمزرنگ ودوصفحهٔ شیشه‌ای سبزرنگ ویك دسته پرتو نورسفیدکه ازچشمهٔ نور برروی دیوار یا پرده‌ای می‌تابد دراختیار دارید.

الف- چگونه می‌توانید نشان دهیدکه نورسفید محتوی نورهای قرمز وسبز است؟

ب- چگونه می‌توانید خاصیت عبور انتخابی شیشهٔ قرمز را نشان دهید؟

۶) رنگ یك‌جسم کدرچه چیزرا نشان‌می‌دهد؟ اگر پرچم سه رنگ ما فقط بانور قرمز روشن شود قسمتهای سبز وسفید وقرمز آن به چه رنگهایی ظاهر خواهند شد؟

۷) با چه وسیلهٔ ساده‌ای می‌توانید نشان دهید که پرتوهای نور بـه خط راست می‌گذرند؟ شکل وسیله‌ای راکه پیشگویی می کنید رسم نمایید.

۸) ساختمان «اتاق تاریك» راشرح دهید. چرا تصویری که «اتاق تاریك» ازیك شیٔ می‌دهدوارونه است؟ دربارهٔ ابعاد تصویرو وضوح آن درحالات زیربحث کنید.

الف- وقتی که فاصلهٔ شیٔ ازسوراخ دوبرابر شود؛

ب- وقتی که قطر سوراخ دوبرابر شود.

۹) یك صفحهٔ کدر عمود برمسیر پرتوهایی که ازیك نقطهٔ نورانی‌خارج می‌شوند، درست وسط‌فاصلهٔ این نقطهٔ نورانی و یك پرده قرارداده شده و سایه‌ای از آن برروی پرده تشکیل یافته است. نسبت ابعاد سایه به‌ابعاد صفحه را پیشگویی‌کنید و دربارهٔ جواب خود با رسم شکل توضیح دهید.

۱۰) با رسم یك شکل گرفتن خورشید را نمایش دهید. آیا ممکن است قطر سایهٔ کامل ماه روی زمین بزرگتر ازقطرخود ماه باشد؟ توضیح دهید.

۱۱) می‌دانید مسافتی راکه نور در مدت یك سال می‌پیماید سال نوری گویند. اگر همین امشب درستاره‌ای‌که ۱۰ سال نوری از زمین فاصله دارد انفجاری رخ دهد چه وقت به وسیلهٔ ناظران روی زمین مشاهده می‌شود؟

آیا ممکن است ناظران روی زمین انفجار درستاره را درهمان لحظهٔ وقوع آن ببینند؟ دربارهٔ جواب خود توضیح دهید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) فاصلهٔ ماه از زمین تقریباً $۳/۸ \times ۱۰^۸$ متر است. یك علامت رادار که با سرعت نورحرکت می‌کند به‌طرف ماه فرستاده می‌شود و پس از بازتاب از روی سطح ماه به زمین برمی‌گردد. مدت رفت و برگشت این علامت چه اندازه است؟

۲) نورستاره‌ای ۴سال طول می‌کشد تا به‌زمین برسد. فاصلهٔ این‌ستاره را اززمین برحسب‌کیلومتر تا سه رقم معنی‌دار حساب‌کنید.

۳) شمعی به‌طول ۱۰ سانتیمتر جلو یك «اتاق تاریك» درفاصلهٔ ۲۰ سانتیمتری سوراخ آن‌گذاشته شده است. اگرفاصلهٔ صفحهٔ مات «اتاق تاریك» ازسوراخ آن ۱۵ سانتیمتر باشد:

الف- طول تصویر این شمع چند سانتیمتراست؟

ب- شمع را درچه فاصله ازسوراخ بایدگذاشت تا طول تصویرآن ۴ سانتیمتر شود؟

ج- اگر به‌جای شمع، قابی به‌ابعاد ۴ در۳ سانتیمتر، موازی با وجه سوراخ‌دار اتاق، به‌فاصلهٔ ۲۰ سانتیمتر از آن قرارگیرد مساحت تصویری که از آن برروی صفحهٔ مات تشکیل می‌شود چند سانتیمتر مربع خواهد بود؟

۴) قرص کدری به‌قطر ۱۰ سانتیمتر بین یك چشمه نور نقطه‌ای و دیوار یك اطاق قرار دارد و سطح قرص موازی با سطح دیوار است. اگر فاصلهٔ قرص از چشمه نور و از دیوار ۱ متر باشد قطر سایهٔ قرص روی دیوار را حساب کنید.

۵) یك چشمه نور به شکل قرصی به‌قطر ۱ سانتیمتر است که قرص کدری به قطر ۵ سانتیمتر را که در فاصله ۵۰ سانتیمتری آن واقع است روشن می‌کند وسطح قرص موازی با سطح چشمه نور است. قطر سایه و پهنای نیمسایه حاصل از این قرص کدر را روی صفحه‌ای‌که در فاصلهٔ ۲ متری قرص وموازی با آن قرار دارد حساب کنید.

جواب: ۲۱ سانتیمتر و ۴ سانتیمتر

۶) سطح قرص کدری به‌قطر ۵ سانتیمتر بر پرتوهای خورشید عمود است وسایه آن روی صفحه‌ای موازی باسطح قرص‌تشکیل شده است. اگر زاویه‌ای که تحت‌آن خورشید دیده می‌شود $\frac{۱}{۲}$ درجه فرض شود کمترین فاصله صفحه ازقرص چه‌اندازه باید باشد تاقطر سایه صفر شود؟

جواب: ۵/۷۳ متر

۷) یک پست فاصله‌یابی مجهز به دو دوربین است که از یکدیگر ۴ متر فاصله دارند. وقتی‌که این دوربین‌ها را روی چراغی که در فاصلهٔ دوری از آنها قرار دارد میزان می‌کنند زاویهٔ بین محورهای آنها ۱/۵ درجه می‌شود. فاصلهٔ چراغ را از دوربین‌ها حساب کنید.

جواب: تقریباً ۱۵۲ متر

پاسخ به پرسشهای متن

۲-۱) درچراغ‌برق انرژی‌الکتریکی و در آتش انرژی شیمیایی. این انرژیها به‌گرما و نور تبدیل می‌شوند.

۲-۲) جسم غیرمنیر.

۲-۳) به‌صورت‌انرژی گرمایی. به‌همین‌جهت است‌که یك قطعهٔ پارچهٔ سیاه بیش ازیك قطعهٔ‌پارچهٔ‌سفید که هر دو درنور خورشید باشندگرم می‌شود.

۲-۴) به جنس ماده و به میزان انرژی فوتونهای نور (یا به تواترنور).

۲-۵) تیره،زیرا جسم قرمزرنگ، فقط نور قرمز رابازمی‌تاباندواین نور نمی‌تواند ازشیشهٔ‌سبز رنگ بگذرد وجذب آن می‌شود.

۲-۶) زیرا پرتوهای‌نور به‌خط راست عبورمی‌کنند و اجسام‌کدر مانع عبور پرتوهایی‌می‌شوندکه از نقاط واقع در پشت‌آنها (نسبت به‌ناظر) به‌طرف چشم گسیل می‌شوند.

۲-۷) اگر روزنه بزرگ باشد می‌توان آن را مجموعه‌ای از روزنه‌های‌کوچك دانست‌که هریك‌از آنها تصویر جداگانه‌ای ازجسم می‌دهد، این تصویرها درهم می‌آمیزند وسبب آشفتگی تصویر کلی می‌شوند. اگر روزنه خیلی‌کوچك باشد در کناره‌های آن، پدیدهٔ تفرق ظاهر می‌شود و بنابراین تصویر جسم واضح نخواهد بود.

۲-۸) از رابطهٔ ۲-۱ نتیجه می‌شود : $\text{طول تصویر} = \text{طول شیٔ} \times \frac{\text{فاصلهٔ تصویر از روزنه}}{\text{فاصلهٔ شیٔ از روزنه}}$

چون اندازه‌های طول شیٔ و فاصلهٔ تصویر از روزنه همواره ثابت هستند هرچه فاصلهٔ شیٔ ازروزنه‌کمتر شود طول تصویر بزرگتر می‌شود.

۲-۹) از تشابه دومثلث OAB و OA'B' (شکل ۲-۴) نتیجه می‌شود:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p}$$

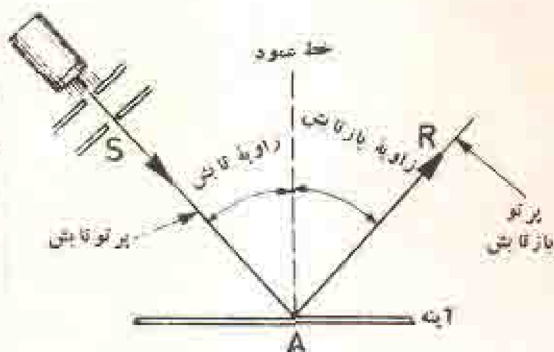
۳

بازتابش نور- آینه‌ها

بازتابش نور[1]

گفتیم هرگاه نور برجسمی بتابد بخشی از آن از روی جسم باز می‌تابد. بازتابش نور به ویژه وقتی مورد توجه است که یک دسته پرتو نور موازی برروی یک سطح بسیار صیقلی مانند آینه بتابد. در این صورت تقریباً تمام نور با زاویه‌ای برابر با همان زاویه‌ای که تابیده است بازمی‌تابد. شکل ۳-۱ چگونگی بازتابش یکی از پرتوهای نور را نشان می‌دهد. در این شکل پرتو (در حقیقت دسته پرتو خیلی باریک) SA که از سوراخ خیلی کوچکی خارج شده است برروی آینهٔ تختی تابیده و درراستای AR باز تابیده است.

پرتو SA را که از چشمهٔ نور به سطح آینه می‌تابد پرتو تابش (یا شعاع تابش) و پرتو AR را که از روی آینه باز می‌تابد پرتو بازتابش (یا شعاع انعکاس) نامیده‌اند. برای بررسی قانونهای بازتابش نور کافی است عمود AN را در نقطهٔ تابش A برسطح آینه رسم کنیم؛ زاویه‌ای که بین این خط عمود و پرتو تابش درست می‌شود زاویهٔ تابش و زاویه‌ای که بین خط عمود و پرتو بازتابش تشکیل می‌شود زاویهٔ بازتابش نامیده شده است.



شکل ۳-۱- قانون بازتاب نور.

قانونهای بازتابش نور

۱- پرتو تابش و خط عمود در نقطهٔ تابش و پرتو بازتابش هر سه در یک صفحه هستند.

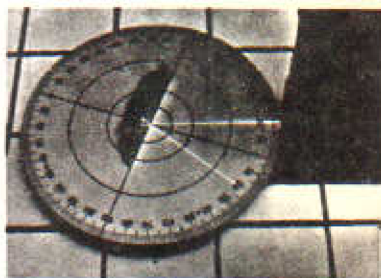
۲- زاویهٔ تابش همواره برابر زاویهٔ بازتابش است.

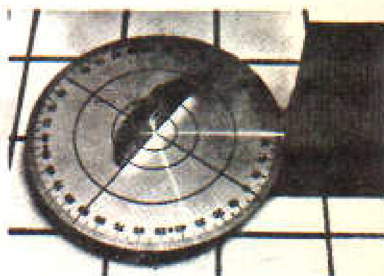
۱- کلمهٔ بازتابش از مصوبات فرهنگستان زبان ایران و بجای انعکاس است.

شکل ۳-۲ تحقیق تجربی بازتابش نور را به وسیلهٔ یک اسباب ساده نشان می‌دهد. نور از شکاف باریکی برروی یک آینه می‌تابد ومسیرپرتوهای تابش وباز تابش برروی صفحهٔ گرد مدرجی کاملاً مشخص می‌شود به طوری که بـه‌آسانی می‌توان زاویه‌های تابش و بازتابش را اندازه گرفت.

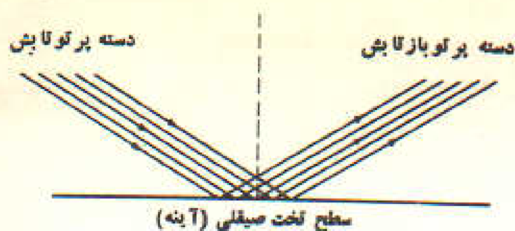
پرسش ۳-۱- اگر پرتو تابش به طورعمودی برسطح یك آینهٔ تخت بتابد چگونه باز می‌تابد؟ در این صورت زاویه‌های تابش و بازتابش‌چه اندازه‌اند؟







شکل ۳-۲- تحقیق تجربی بازتابش نور.



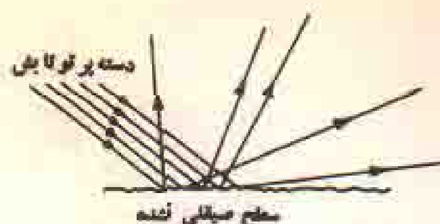
شکل ۳-۳- بازتابش منظم نور.

بازتابش‌منظم وپخش نور-همهٔما، تفاوتهایی را که بین بازتابش نوراز روی سطح یك آینه باسطح آب صاف و آرام و بازتابش نور از روی یك صفحهٔ کاغذ وجود دارد حس می‌کنیم. یکی ازتفاوتها این است که ما تصویر خود یا اشیای دیگر را درآینه و آب آرام می‌بینیم درصورتی که دریك صفحهٔ کاغذ با آن‌که به ظاهرصاف است تصویر دیده نمی‌شود.

باز تابیدن نور لزروی یك سطح تخت صیقلی مانند آینه را بازتابش منظم گویند وبازتابیدن نور از روی یك سطح غیر صیقلی مانند صفحهٔ کاغذ را بازتابش نامنظم یا پخش نور نامند.

شکل ۳-۳ یك دسته پرتـو موازی را نشان می‌دهد که از روی یك سطح صیقلی تخت بـه‌طور منظم بازتابیده است. هر یك از پرتوهای این دسته، چنان بازتابیده است که زاویه‌های تابش وبازتابش آن با هم برابرند و چون تمام این پرتوهای موازی بر روی یك سطح تخت تابیده‌اند پس از بازتابش نیزبا هم موازی هستند.

شکل ۳-۴ نشان می‌دهد کـه یك دسته پرتو موازی پس‌ازتابیدن برروی‌صفحه‌ای که صیقلی‌نیست به اطراف پخش شده است. علت این است که صفحهٔ صیقلی نشده (مثلاً صفحهٔ این کتاب) درمقابل‌پرتو-های نور کاملاً تخت وهموار نیست بلکه ازمیلیونها



شکل۳-۴- بازتابش نامنظم یا پخش نور.

صفحهٔ خیلی کوچك تخت درست شده است که روی هریك ازآنهابه‌طرفی است. بنابراین پرتوهای‌موازی که به‌این‌صفحه‌های‌خیلی‌کوچك می‌تابنددرراستاهای مختلف پخش می‌شوند.

پخش نور در دیدن اجسام نقش مؤثری دارد وسبب می‌شودکه ما ازهرامتداد و درهروضع‌اجسام را، اگردر میدان دید چشممان واقع شوند، ببینیم.

پرسش ۳-۲- اجسامی که درسایه یادرون‌اتاق هستند با آن‌که در روز نور خورشید به طورمستقیم بر آنها نمی‌تابد دیده می‌شوند. علت چیست؟

تصویر درآینه‌های تخت

می‌دانیـد آینهٔ تخت سطح صیقلی و مسطحی است‌که نوررا به‌طور منظم باز می‌تاباند.

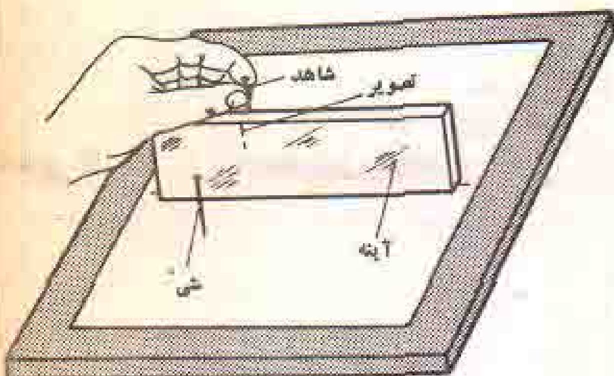
پرسش ۳-۳- درآینه‌های معمولی سطح باز-تاباننده نورچیست؟

وقتی که دریك‌آینهٔ تخت نگاه می‌کنید تصویر خود و تصویر اشیایی را که جلوآینه قراردارند در آن می‌بینید. برای این که به‌چگونگی تشکیل‌تصویر در آینه‌های تخت بهتر پی‌ببرید به‌این آزمایشها، که خود به آسانی می‌توانید آنها را انجام دهید، توجه کنید:

۱- آینهٔ تخت‌کوچکی مانند آینهٔ جیبی را به طورقائم روی سطح افقی میز چوبی یـا تخته قرار دهید وسنجاقی را جلو آن روی میز یا تخته نصب کنید (شکل ۳-۵). سپس سنجـاق دیگری را پشت آینه در نزدیکی تصویری‌که ازسنجاق اول در آینه می‌بینید قراردهید به‌طوری‌که سنجاق دوم و تصویر سنجاق اول را با هم ببینید. سنجاق دوم را به دقت جابه‌جا کنید تا ازهرزاویه‌ای‌که نگاه می‌کنیدمنطبق برتصویر سنجاق اول دیده شود وآن را دراین مکان روی میز یا تخته فرو برید. در این صورت سنجاق دوم جای واقعی تصویر سنجاق اول را درآینه‌نشان می‌دهد. فاصلهٔ این دوسنجاق از آینه یکی است. به عبارت دیگر: در آینهٔ تخت فاصلهٔ تصویر ازآینه‌برابر فاصلهٔ شیء از آینه است.

با یك قطعه شیشه و دو شمع یکسان ممکن است این آزمایش را آسانتر انجام دهید:

شیشه را درمکانی‌که نور زیاد نیست به طور قائم روی میز قراردهید و یکی از شمعها را روشن کرده وجلوآن بگذارید بدان سان‌که تصویرآن رادر شیشه ببینید. بدیهی‌است تصویرشمع روشن درشیشه به روشنی تصویر آن درآینه نیست.

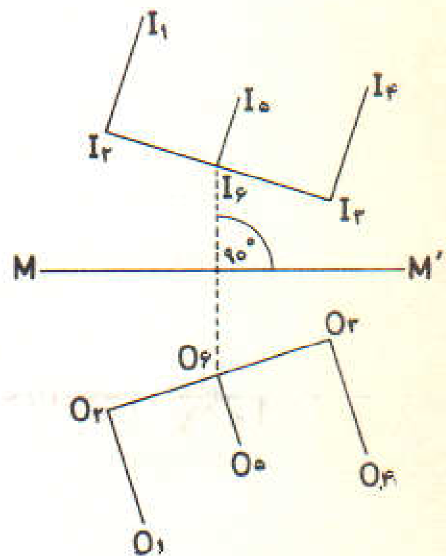


شکل۳-۵- تعیین جای تصویر درآینهٔ تخت.

پرسش ۳-۴- چرا چنین است؟

شمع دوم را پشت شیشه در جایی که تصویر شمع روشن دیده می‌شود قرار دهید وآن قدر آن را جا به‌جا کنید تا از هر زاویه که نگاه می‌کنید آن را منطبق براین تصویر ودرنتیجه روشن ببینید ودراین مکان آن را استوار کنید. در این صورت شمع دوم درست جای تصویر شمع اول را در شیشه (که در اینجا درحکم‌آینه است) نشان می‌دهدوفاصلهٔ دوشمع از شیشه با هم برابر است.

۲- صفحهٔ کاغذی رازیرآینه روی میزبگذارید و حرف E را بزرگ روی این صفحهٔ کاغذ رسم‌کنید وآن‌را برای‌آینه درحکم شئ بگیرید. برای‌مشخص کردن وضع تصویرحرف E درنقاط مختلف آن‌مانند O_1 و O_2 و O_3 و... (شکل ۳-۶) سنجاقهایی فرو برید و جای درست تصویر این سنجاقها را در آینه مانند آزمایش(۱) به وسیلهٔ سنجاقهای دیگری که در



شکل ۳-۶- تصویر درآینهٔ تخت. خط MM′ نمایش آینه است.

پشت‌آینه روی صفحهٔ کاغذ فرو می‌برید معین کنید. بدین ترتیب نقطه‌های I_1 و I_2 و I_3 و... به دست می‌آیند. اگر این نقطه‌ها را به‌هم وصل‌کنید تصویر حرف E در پشت آینه مشخص خواهد شد.

پرسش ۳-۵- در این آزمایش دیده می‌شود هرخطی که یك نقطه ازشئ را به تصویرش‌وصل‌کند برسطح آینه عمود است. آیا می‌توان این‌خاصیت را برای رسم تصویر یك شئ به کار برد؟

تصویری‌که از یك شئ در آینهٔ تخت تشکیل می‌شود دارای این ویژگیهاست:

۱- بزرگی آن برابر بزرگی شئ است.

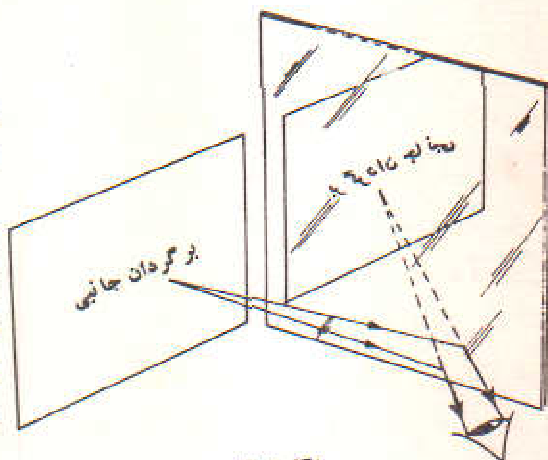
۲- فاصلهٔ آن ازآینه برابر فاصلهٔ شئ ازآینه است.

۳- هر یك از نقاط آن نسبت به سطح آینه قرینهٔ نقطهٔ نظیرش درشئ است.

۴- مجازی است. یعنی روی یك پرده تشکیل نمی‌شود.

ما، به‌سبب مشاهدات روزانهٔ خود با پاره‌ای از این ویژگیها آشنا هستیم: وقتی‌که در آینهٔ تخت نگاه می‌کنیم تصویری از خود درآن می‌بینیم که به نظر می‌رسد پشت‌آینه است. اگر به آینه نزدیك یا از آن دور شویم تصویر ما هم به همان اندازه به آینه نزدیك یا ازآن دورمی‌شود به طوری‌که فاصلهٔ آن ازآینه همواره برابرفاصلهٔ خود ما از آینه است. ولی تصویری راکه بدین ترتیب درآینهٔ تخت می‌بینیم نمی‌توانیم مانند تصویر حقیقی که به وسیلهٔ پروژکتور بر پردهٔ سینما تشکیل می‌شود روی یك پرده به دست آوریم. به همین جهت آن را تصویر مجازی می گوییم. این تصویر مجازی، پشت آینه، در جایی دیده می‌شود که امتداد پرتوهای بازتابیده

درآنجا به هم می‌رسند. ازطرف دیگر چون هر نقطه ازتصویر نسبت به سطح آینه قرینهٔ نقطهٔ نظیرش در جسم است، وقتی که مقابل آینه می‌ایستیم دست چپ تصویر در واقع، تصویر دست راستمان است. این خاصیت را برگردان جانبی می‌نامند و شما می‌توانید با نگاه داشتن یك نوشته یا یك صفحهٔ کتاب جلو آینهٔ تخت به خوبی آن را مشاهده کنید (شکل ۳-۷).

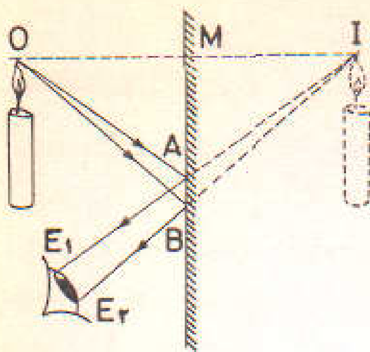


شکل ۳-۷

چگونه چشم، تصویر در آینهٔ تخت را می‌بیند؟

بگذارید موضوع را با طرح این پرسش شروع کنیم: چگونه چشم تصویر نوك شعلهٔ یك شمع روشن را درآینهٔ تخت می‌بیند؟

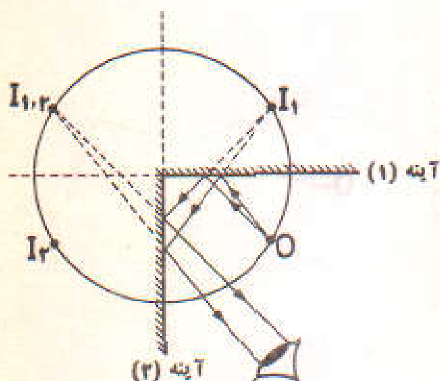
جای تصویر این نقطه را چنان که دیدیم به آسانی می‌توان تعیین کرد: کافی است ازنقطهٔ O، نوك شعله (شکل ۳-۸)، خط OM را عمود برآینه رسم کنیم وآن را به‌اندازهٔ IM = OM امتداد دهیم. نقطهٔ I تصویر نقطهٔ O خواهد بود. وقتی که درآینه نگاه می‌کنیم به ظاهر چنین به‌نظر می‌رسد که نقطهٔ I در نتیجهٔ وارد شدن دسته پرتو مخروطی شکل IE_1E_2



شکل ۳-۸- طرز دیدن تصویر در آینهٔ تخت.

به مردمك چشم دیده می‌شود، درصورتی که قسمت IAB این دسته پرتو وجود ندارد زیرا نور شمع به قسمت پشت آینه نمی‌تابد. در واقع قسمت حقیقی ABE_1E_2 این دسته پرتو، حاصل از بازتابش دسته پرتو مخروطی‌شکل OAB است که‌ازنقطهٔ O به‌سطح AB آینه می‌تابد و بنابرقانونهای بازتابش نور از روی آن باز می‌تابد. بدیهی است تصویر نقطه‌های دیگر شمع نیزبه‌همین گونه دیده می‌شود.

تصویرهایی که در دوآینهٔ تخت عمود برهم تشکیل می‌شوند- وقتی که جسمی‌را مقابل دوآینه عمود برهم قرارمی‌دهیم علاوه بردوتصویر I_1 وI_2

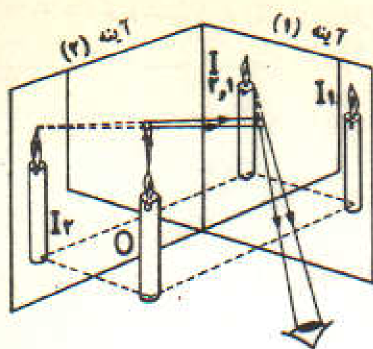


شکل ۳-۹- بازتابش نور ازروی دوآینهٔ عمود برهم.

که به طور مستقیم درنتیجهٔ یک بار بازتابش نوراز روی هریک از دوآینه تشکیل می‌شوند دو تصویر اضافی دیگرهم خواهیم داشت که دراثر دوبار بازتابش نور از روی دوآینه حاصل می‌شوند. درشکل ۳-۹ مسیر دسته پرتوی که سبب دیدن یکی ازاین دوتصویر اضافی، مثلاً $I_{1,2}$ می‌شود نشان داده شده است. زیر نویسهای ۱و۲ درعلامت $I_{1,2}$ ترتیب بازتابش نور را از روی آینه‌های ۱و۲ نشان می‌دهد و این تصویر، طبق شکل، در آینهٔ ۲ دیده می‌شود. اگر درآینهٔ ۱ نگاه کنیم تصویر $I_{2,1}$ دیده می‌شود. این دوتصویرروی هم می‌افتندودرتشکیل آنهاتصویرهای I_1 و I_2 مانند دوجسم عمل می‌کنند.

پرسش ۳-۶- چگونه با روش ساده‌ای می‌توانید جای این‌تصویرها را دردوآینه مشخص کنید؟

از لحاظ هندسی، جسم وتصویرهای آن روی محیط دایره‌ای قرار دارند که مرکز آن روی خط مشترک دوآینه است. ازاین خاصیت می‌توان برای تعیین جای تصویرها استفاده کرد. در شکل ۳-۱۰ باز تابیدن دسته پرتوی که سبب دیدن یک نقطه از تصویر $I_{2,1}$ می‌شود مجسم شده است.

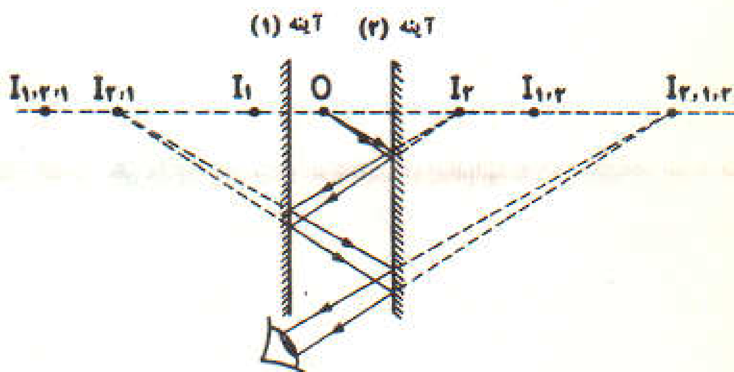


شکل ۳-۱۰- تصویرهایی‌که در دوآینهٔ تخت عمود برهم تشکیل می‌شوند.

آینه‌های موازی

ازجسمی که میان دو آینهٔ تخت موازی واقع باشد بی‌نهایت تصویر در دوآینه تشکیل می‌شود و تمام این‌تصویرها روی خط راستی واقعندکه ازشی عمود بردوآینه رسم شود (شکل ۳-۱۱).

جای تصویرها را بـه آسانی می‌توانیم معین کنیم و برای این منظور باید در نظر داشته باشیم تصویری که در یک آینه تشکیل می‌شود برای آینهٔ دوم درحکم شیٔ است. مثلاً تصویرI_2 که ازبازتابش نور ازروی آینهٔ۲ به‌دست می‌آید درحکم شیٔ برای



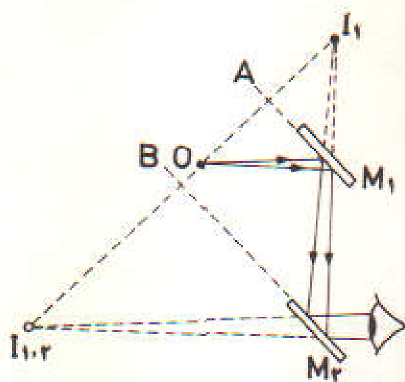
شکل ۳-۱۱- تصویرهایی‌که در دوآینهٔ موازی تشکیل می‌شوند.



شکل ۳-۱۲- چند تصویر دراین عکس دیده می‌شود؟

آینهٔ ۱ است و تصویر $I_{2,1}$ را در این آینه تشکیل می‌دهد. این تصویربه نوبهٔ خود درحکم شیٔ برای آینهٔ ۲ است و از آن تصویر $I_{2,1,2}$ در این آینه تشکیل می گردد.

هر چه فاصلهٔ تصویرها از دوآینه بیشتر شود روشنی آنها کمترمی گردد زیرادرهریک ازبازتابشهای متوالی‌مقداری‌ازانرژی تابشی‌جذب دوآینه‌می‌شود.



شکل ۳-۱۳- طرز تشکیل تصویر درآینه‌های پریسکوپ.

یادآوری ـ از دوآینهٔ تخت موازی می‌توان برای ساختن پریسکوپهای ساده استفاده کرد.

شمادرسال‌سوم راهنمایی با ساختمان‌پریسکوپ آشنا شده‌اید. دراینجا فقط مسیر دسته پرتوی را که منجر به دیدن تصویر یك نقطه ازشیٔ می‌شودنشان می‌دهیم (شکل ۳-۱۳). آینهٔ بالایی M_1 از نقطهٔ O تصویر I_1 را می‌دهدکه برای آینه M_2 درحکم شی است وازآن‌دراین‌آینه تصویر $I_{1,2}$ تشکیل‌می‌شود. هنگام رسم مسیرپرتوها توجه داشته باشید که:

$$AI_1 = AO$$

و

$$I_1B = I_{1,2}B$$

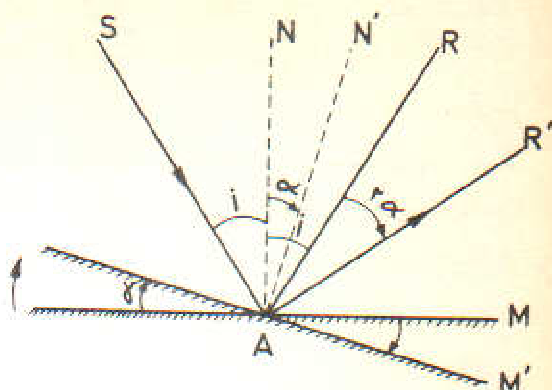
وخط $I_1I_{1,2}$ برسطح دو آینه عمود است و هریك از آینه‌ها با راستای قائم زاویهٔ °۴۵ می‌سازد.

باپریسکوپ می‌توان در یك زیردریایی، رفت و آمد کشتیها را روی دریا مشاهده کرد. در این پریسکوپها به جای آینه ازمنشور استفاده می‌شودو برای این که مسافتهای دورتری با آنها دیده شود دوربین نیز به آنها اضافه می‌شود.

دوران پرتوبازتابش‌در اثردوران‌آینه

اگر یك پرتونورانی با زاویهٔ‌تابش i برسطح یك آینهٔ تخت بتابد، زاویهٔ بازتابش آن نیز برابر i است. بنابراین زاویهٔ بین دو پرتو تابش و بازتابش $2i$ خواهد بود.

اینك فرض کنید بدون آن که راستای زاویهٔ تابش‌تغییر کند آینه به‌اندازهٔ زاویهٔ α بچرخدبه‌طوری که زاویهٔ تابش $i+\alpha$ بشود (شکل ۳-۱۴). زاویهٔ بازتابش‌نیز $i+\alpha$ می‌شود. بنابراین‌زاویهٔ بین‌پرتو-های تابش و بازتابش دراین حالت $2i+2\alpha$ است، درنتیجه، پرتو بازتابش به اندازهٔ 2α چرخیده‌است.



شکل ۳-۱۴- اگر آینه به اندازهٔ زاویهٔ α دوران کند پرتو بازتابی ۲α دوران می‌کند.

خواهید دید که از این خاصیت برای اندازه‌گیری شدت جریانهای الکتریکی ضعیف در اسبابی به نام گالوانومتر استفاده می‌شود.

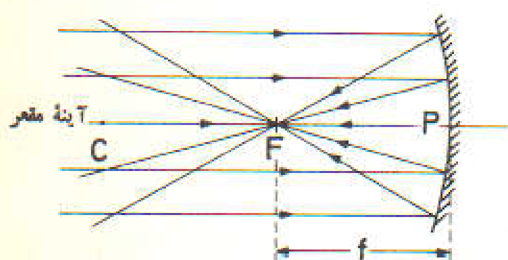
آینه‌های کروی

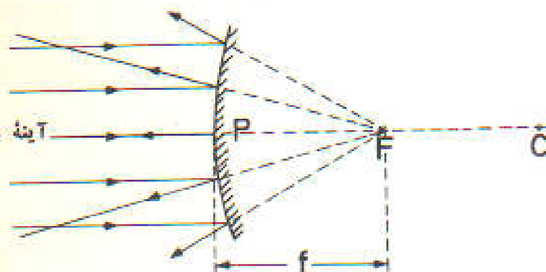
طرز تشکیل تصویر در آینه‌های تخت رادیدیم. در اینجا می‌خواهیم چگونگی تشکیل تصویر را در آینه‌هایی که سطح آنها خمیده است به‌ویژه در آینه‌های کروی بررسی کنیم.

آینهٔ کروی معمولاً از یک قطعه شیشهٔ نقره‌اندود ساخته می‌شود که قسمت کوچکی از سطح یک کرهٔ تو-خالی را تشکیل می‌دهد. اگر طرف بیرونی این سطح نقره‌اندود شده باشد طرف داخلی آن که کاو است صیقلی است و نور را باز می‌تاباند. در این صورت آینه را مقعر یا کاو می‌گویند. و اگر طرف درونی این سطح نقره‌اندود شده باشد طرف بیرونی آن که کوژ است نور را بازمی‌تاباند. دراین حالت آینه را محدب یا کوژ می‌نامند. مرکز کره‌ای که آینه قسمتی از سطح آن است مرکز انحنای آینه یا به اختصار مرکز آینه نامیده می‌شود. در شکل ۳-۱۵ این مرکز با نقطهٔ C نمایش داده شده است. مرکز C در آینه‌های مقعر جلو آینه و در آینه‌های محدب پشت آینه است.

خط راستی که مرکز C را به میان آینه (نقطهٔ P) متصل می‌کند محور اصلی آینه نامیده می‌شود. فاصلهٔ $CP=r$ شعاع انحنای آینه یا به‌عبارت ساده‌تر شعاع آینه است. بدیهی است شعاع آینه همان شعاع کره‌ای است که آینه قسمتی از سطح آن را تشکیل می‌دهد.

اگر ابعاد آینه نسبت به شعاع آن کوچک باشد رفتار آینه درمقابل نورساده است و ما این گونه آینه‌ها را بررسی خواهیم کرد





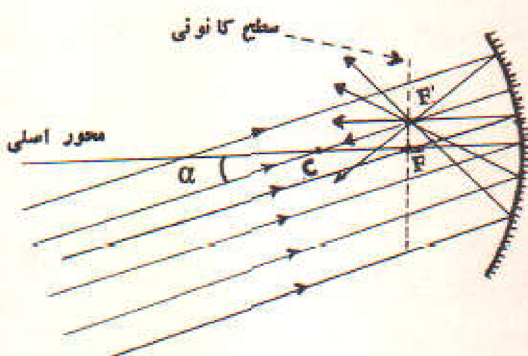
شکل ۳-۱۵- بازتاب پرتوهای موازی از روی آینه‌های کروی.

کانون اصلی - دیدیم وقتی که یک دسته پرتو موازی به سطح آینهٔ تخت می‌تابد به‌صورت یک‌دسته پرتو موازی باز می‌تابد ولی درآینه‌های کروی این طور نیست: وقتی که پرتوهای موازی به سطح یک

آینهٔ کروی مقعر می‌تابند پس از بازتابش دریك نقطه به‌نام کانون به‌هم‌می‌رسند. اگرپرتوهای‌تابش‌موازی محور اصلی آینه باشندکانون نیز روی محوراصلی و تقریباً وسط فاصلهٔ نقاط C و P واقع است وکانون اصلی نامیده می‌شود (نقطهٔ F شکل ۳-۱۵).

اگر پرتوهـای تابش موازی با محور اصلی آینه مقعر نباشند ولی با آن زاویه کوچکی بسازند پس‌از بازتابش، درنقطه دیگری واقع دریك صفحه که از کانون اصلی آینه می‌گذرد و بر محور اصلی آن عمود است بهم می‌رسند.

این صفحـه را سطح کانونی آینه گـویند (شکل ۳-۱۶)

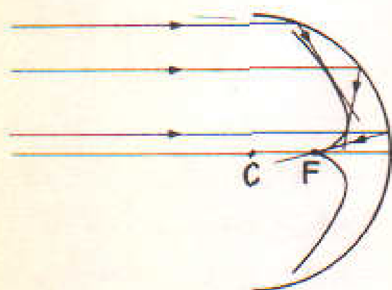


شکل ۳-۱۶-پرتوهای تابش با محور اصلی آینه زاویه کوچك α (حرف یونانی با تلفظ آلفا) می‌سازندو‌پس‌از بازتابش‌درنقطه‌ای مانند F' واقع درسطح کانونی بهم می‌رسند.

پرسش ۳-۷ ـ آیا قانونهای بازتـابش نور دربارهٔ پرتوهایی‌که به سطح آینهٔ‌کروی می‌تابند نیز به‌کار می‌روند؟

در شکل ۳-۱۵ چگونگی بازتابیدن یك‌دسته پرتو موازی با محور اصلی، از روی یك آینهٔ‌محدب نیز نشان داده شده است. دراین‌حالت پرتوهای‌تابش طوری‌بازمی‌تابندکه به‌نظرمی‌رسد ازنقطهٔ F(کانون اصلی آینه) که درپشت آینه تقریباً وسط فاصلهٔ نقاط C و P واقع است خارج‌می‌شوند. بنابراین‌آینه‌های مقعردارای‌کانون حقیقی وآینه‌های محدب دارای‌کانون مجازی هستند.

به خاطر داشته باشیدکه‌کانون آینهٔ‌کروی در صورتی فقط یك نقطه است‌که قطردهانهٔ آینه‌وگودی آن نسبت به شعاع آینه خیلی‌کوچك باشد. ولی در آینه‌هایی‌که قطر دهانه یا گودی آنها بزرگ است، مثلاً در یك آینهٔ مقعر به شکل نیمکره، پرتوهای موازی پس از بازتابیدن ازروی آینه به‌جای آن‌که در یك نقطه به هم برسند در روی یك سطح به هم برخورد می‌کنند (شکل ۳-۱۷). **چنین سطحی را سطح سوزان نامیده‌اند.** مثلاً، اگر نورخورشید یا نور یك چراغ‌که نسبتاً دوراست به درون یك فنجان چای بتابد اغلب در سطح چای یك منحنی سوزان روشن دیده می‌شود. اگر آینه کوچك باشد یا دسته پرتوموازی نزدیك به محوراصلی برسطح آینه‌بتابد سطح سوزان به صورت یك نقطه به‌نام‌کانون اصلی ظاهر می‌شود.



شکل ۳-۱۷- بازتابش نور ازروی یك آینهٔ مقعر به شکل نیمکره.

با توجه به واقعیتهایی که گفته شد می‌توان این تعریفها را نتیجه گرفت:

کانون اصلی یك آینهٔ کروی نقطه‌ای است روی محوراصلی آینه به‌طوری‌که تمام پرتوهای موازی با محوراصلی ونزدیك به‌آن پس از بازتابیدن‌ازروی آینه دراین نقطه به‌هم می‌رسند، یااین‌که به‌ظاهر، از این‌نقطه به‌صورت‌پرتوهای واگرا از هم دور می‌شوند.

فاصلهٔ کانون اصلی را از میان آینه (یعنی از نقطهٔ P محل تلاقی‌محوراصلی‌با آینه) فاصلهٔ‌کانونی نامند و آن را به‌حرف «f» نمایش می‌دهند.

فاصلهٔ‌کانونی آینهٔ‌کروی تقریباً برابرنصف‌شعاع آینه است. یعنی:

$$f \approx \frac{r}{۲}$$

تعیین جای تصویر به کمك رسم پرتوها ـ دیدیم که برای تعیین جای هر نقطه ازتصویر یك‌شیٔ در آینه کافی است که محل تلاقی دو پرتو بازتابیده از روی آینه را معین‌کنیم و برای این که عمل‌ترسیم آسانتر شود بهتر این است‌که دوپرتو مورد نظر را طوری انتخاب‌کنیم که از لحاظ هندسی نمایش آنهابه صورت پرتوهای تابش و بازتابش آسان باشد.

می‌دانیم اگرپرتوی برسطح آینه عمودی‌بتابد برروی خود بازمی‌تابد. ازطرف دیگرازلحاظ‌هندسی شعاع کره، درهرنقطه، برسطح کره درآن نقطه عمود است. بنابراین بهتر این است‌که پرتوی را انتخاب کنیم‌که ازمرکزآینه می‌گذرد ودرنتیجه برسطح آینه عمودی تابیده و برروی خود باز می‌تابد.

پرتودوم را موازی بامحوراصلی آینه‌انتخاب می‌کنیم. این پرتو پس از بازتابیدن ازروی آینه از کانون اصلی آن می‌گذرد. برعکس هرپرتوی که از کانون اصلی آینه بگذرد و بر آینه بتابد موازی با محور اصلی باز می‌تابد. چون این مطالب دربارهٔ آینه‌های مقعر (کاو) و محدب (کوژ) هر دوصدق می‌کند برای تعیین جای تصویر در آینه‌های کروی آنچه راکه دربالابیان‌کردیم درچهارقاعدهٔ زیرخلاصه می‌کنیم:

۱- پرتوی‌که از مرکز آینه بگذرد و برآینه بتابد روی خودش بازمی‌تابد.

۲- پرتوی که موازی با محور اصلی برآینه بتابد پس از بازتابیدن از روی آینه از کانون اصلی می‌گذرد.

۳- پرتوی‌که ازکانون اصلی بگذرد و برآینه بتابد موازی با محور اصلی‌آینه بازمی‌تابد.

۴- پرتوی‌که نسبت به محور اصلی با زاویهٔ معین به میان آینه (محل تقاطع محور اصلی باآینه) بتابد به هنگام بازتابیدن، همان زاویه را با محور اصلی می‌سازد.

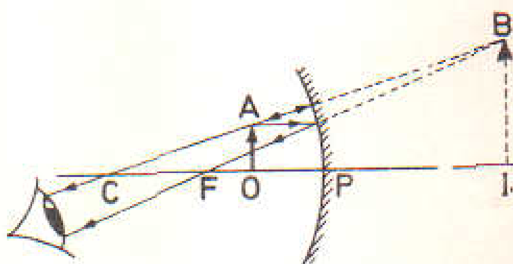
پرسش ۳-۸- چرا چنین است؟

دوباره یادآور می‌شویم که از این چهار پرتو فقط دوتای آنها برای تعیین جای تصویر کافی‌است.

تصویر درآینه‌های مقعر (کاو)

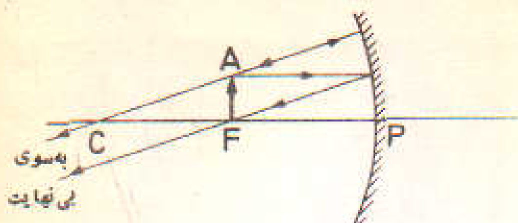
در شکلهای ۳-۱۸ تا ۳-۲۳ تصویر یك شیٔ که درجاهای مختلف روی محور اصلی یك آینهٔ‌مقعر قرارگرفته نمایش‌داده شده است. دراین شکلها،شیٔ با پیکان OA و تصویر با پیکان IB عمود برمحور اصلی مشخص گردیده است. درشکل ۳-۱۸ ، شیٔ OA در فاصلهٔ کانونی آینه (بین نقاط F و P) قرار گرفته وبرای تعیین جای تصویر نقطهٔ A ازدوقاعدهٔ

۲ و ۱ استفاده شده است. به طوری که در شکل دیده می‌شود پرتوهای بازتابش در جلو آینه از یکدیگر دور می‌شوند و به نظر می‌رسد که از نقطهٔ B پشت آینه خارج می‌گردند. بنابراین B تصویر مجازی A است. اگر همین روش را برای یافتن تصویر نقاط دیگر شئ OA به‌کار بریم تصویر IB به‌دست خواهد آمد که عمود برمحور اصلی آینه است. این تصویر بزرگتر از شئ ، مستقیم، مجازی و در پشت آینه است.



شکل ۳-۱۸
شئ بین F و P (درفاصلهٔ کانونی)
تصویر: ۱) پشت آینه ۲) مجازی
۳) مستقیم ۴) بزرگتر ازشئ

درآینه‌های صورت‌تراشی و آینه‌هایی که‌دندان‌پزشکان برای‌امتحان دندانها به‌کارمی‌برند این‌گونه تصویر دیده می‌شود. درشکل ۳-۱۹ شئ روی‌کانون اصلی آینه قرارگرفته است. در این حالت پرتوهای بازتابیده با هم موازی هستند وچون این پرتوها به هم نمی‌رسند تصویر واضحی به دست نمی‌آید ولی معمول چنین است که می‌گویند تصویر در بی‌نهایت تشکیل می‌شود.



شکل ۳-۱۹
شئ درکانون F
تصویر: در بی‌نهایت

در شکلهای ۳-۲۰ تا ۳-۲۳ تصویر حقیقی است. اگرپردهٔ سفیدی درمحل‌تشکیل تصویر گذاشته شود تصویر روی این پرده می‌افتد و از هرسو دیده می‌شود.

در اینجا دوباره یادآور می‌شویم که تشخیص تصویرحقیقی از تصویر مجازی مهم است:

تصویر حقیقی ازتلاقی پرتوهای بازتابش به وجود می‌آید و جلو آینه است، درصورتی که تصویر مجازی ظاهراً از تلاقی امتداد پرتوهای بازتابش در پشت آینه تشکیل می‌شود.

فرق اساسی بین دو تصویر حقیقی و مجازی این است که تصویر حقیقی را می‌توان روی یك‌پرده تشکیل‌داد درصورتی که تصویر مجازی را نمی‌توان روی یك پرده به‌دست آورد.

در همهٔ شکلها بنابر قرارداد، قسمت حقیقی پرتو و تصویرهای حقیقی با خطهای توپر و قسمت مجازی پرتوها و تصویرهای مجازی با خطهای نقطه‌چین نمایش داده شده است و جهت تابش پرتوها با پیکان مشخص گردیده است.

در شکلهای ۳-۲۰ تا ۳-۲۳ جاهای شئ و تصویر نمونه‌هایی از دونقطهٔ مزدوج هستند. منظوراز

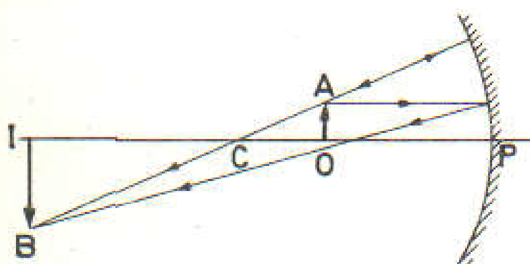
دو نقطهٔ مزدوج یك جفت نقطه است‌که اگرشیٔ در یکی از آن دو نقطه قرارگیرد تصویرحقیقی آن‌درست در نقطهٔ دیگر تشکیل شود. اگر شیٔ به‌جای تصویر منتقل شود تصویر به‌جای شیٔ انتقال خواهدیافت.

این واقعیت را اصل بازگشت نور نامیده‌اند.

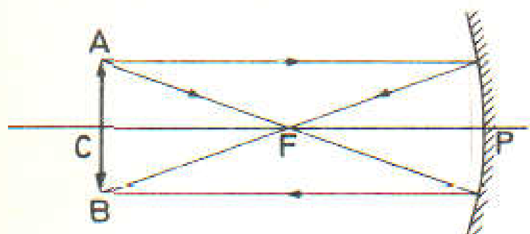
از آینه‌های مقعر علاوه بر مواردی که بیان شددرنورافکنها، چراغهای جلواتومبیل، تلسکوپ‌های انعکاسی وکوره‌های آفتابی استفاده می‌شود.

تولید یك دسته پرتو موازی به‌وسیلهٔ آینهٔ مقعر

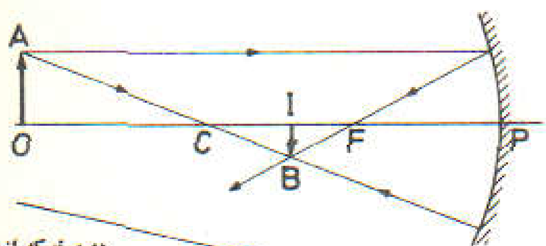
با توجه به اصل بازگشت نور می‌توان یك نقطهٔ نورانی (چشمهٔ نور خیلی کوچك) در کانون اصلی یك‌آینهٔ مقعرکه دهانهٔ‌آن‌کوچك است قرارداد و یك دسته پرتو موازی به وجود آورد. این عمل مانند حالتی است‌که جسم در کانون و تصویرآن در بی‌نهایت است.



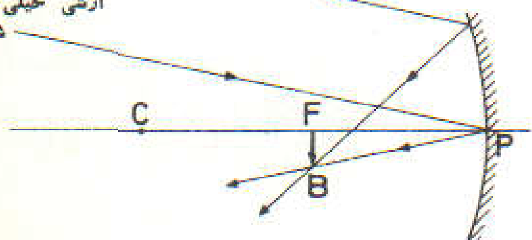
شکل ۳-۳۰
شیٔ بین F (کانون) و C (مرکزآینه)
تصویر: ۱) خارج‌ازفاصلهٔ CP (بین مرکز و بی‌نهایت)
۲) حقیقی ۳) وارونه ۴) بزرگترازشیٔ



شکل ۳-۳۱
شیٔ درمرکز C
تصویر: ۱) در C ۲) حقیقی
۳) وارونه ۴) برابرخود شیٔ

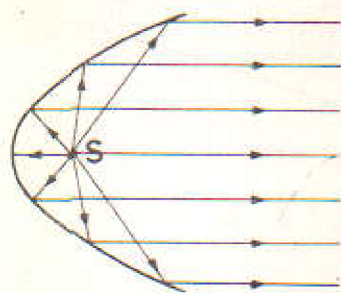


شکل ۳-۳۲
شیٔ خارج از فاصلهٔ CP
تصویر: ۱) بین C و F ۲) حقیقی
۳) وارونه ۴) کوچکتر ازشیٔ



شکل ۳-۳۳
شیٔ در بی‌نهایت (خیلی دور)
تصویر: ۱) درکانون F ۲) حقیقی
۳) وارونه ۴) کوچکتر از شیٔ

اگر بخواهیم دسته پرتو گسترده‌ای مانند نور حاصل از چراغهای جلو اتومبیل داشته باشیم باید **سطح آینه را مطابق شکل ۳-۲۴ شلجمی شکل انتخاب کنیم.**



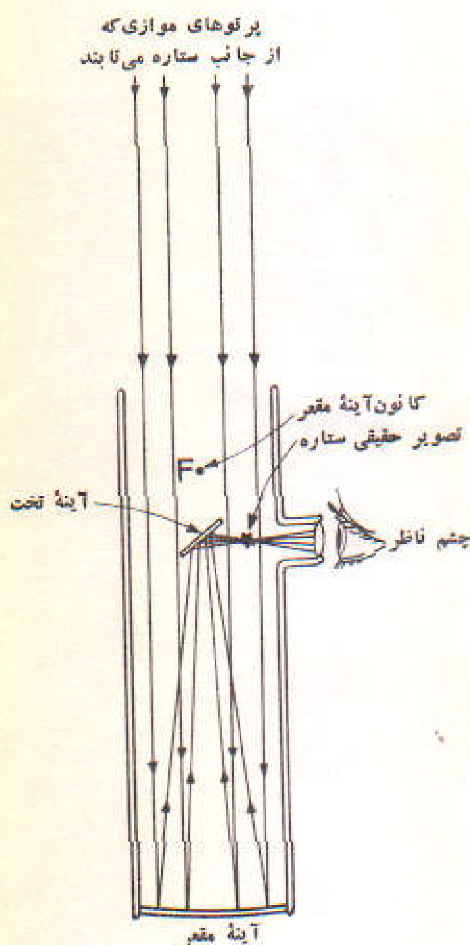
شکل ۳-۲۴- آینهٔ شلجمی شکل.

تلسکوپ انعکاسی

دردورهٔ راهنمایی باطرز کار تلسکوپ انعکاسی **آشنا شده‌اید. شکل ۳-۲۵ اساس کار این تلسکوپ** رانشان می‌دهد. چون این تلسکوپ برای دیدن اجسام خیلی دور مانند ستارگان به کار می‌رود پرتوهایی که از آنها وارد تلسکوپ می‌شوند و به سطح آینهٔ آن می‌تابند عملاً با هم موازی هستند، درنتیجه تصویر این اجسام در کانون اصلی آینه تشکیل می‌شود.

آینهٔ تخت کوچك M درون لولهٔ تلسکوپ در جلو کانون اصلی طوری نصب شده است که با محور اصلی آینه زاویهٔ ۴۵ درجه می‌سازد. این آینه پرتو- هایی را که از روی آینهٔ مقعر بازتابیده می‌شوند مطابق شکل به طرف جایی که چشم قرار می‌گیرد منعکس می‌کند. برای بزرگ کردن این تصویرمی- توان از یك عدسی همگرا (که در حکم ذره‌بین است) استفاده کرد.

نخستین نمونهٔ این نوع تلسکوپ درقرن هفدهم میلادی توسط نیوتن ساخته شد که قطر دهانهٔ آینهٔ آن ۲۵ میلیمتر بود. بزرگترین تلسکوپ انعکاسی که اکنون در جهان موجود است دررصدخانه «مونت پالومار[1]» در کالیفرنیا قراردارد که قطر دهانهٔ آن



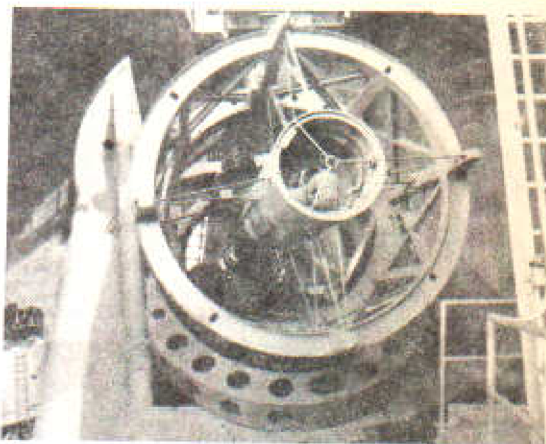
شکل ۳-۲۵-تلسکوپ انعکاسی.

1- Mount Palomar

تقریباً ۵ متر است وساختن این آینه چند سال طول کشیده است. چون سطح آینه خیلی بزرگ است در کانون آن مقدارزیادی انرژی نورانی متمرکزمی‌شود و به رصدکنندگان امکان می‌دهد که تصویر ستارگان خیلی دور را ببینند و از آنها عکسبرداری کنند. هوای صاف وبدون گردوغبار بالای کوه‌پالومار به این موضوع کمک می‌کند.



شکل ۳-۲۷- این کورهٔ آفتابی از آینهٔ مقعر بزرگی ساخته شده است که انرژی تابشی خورشید را در کانون خود متمرکز می‌کند. دمای نمونه‌های کوچکی که درکانون آن قرار داده شوند تا 5000°C بالا می‌رود.



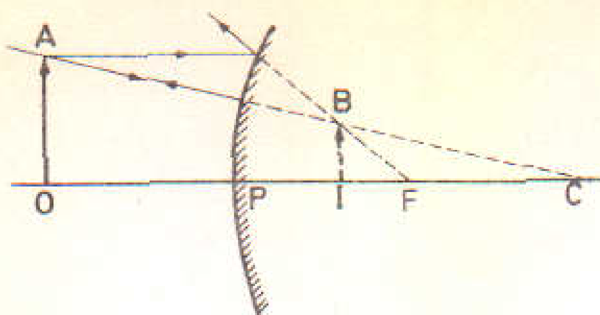
شکل ۳-۲۶- تلسکوپ انعکاسی مونت پالومار که قطر دهانهٔ آینهٔ آن ۵ متراست.

کورهٔ آفتابی - این نوع کوره از یك آینهٔ مقعر بزرگ ساخته شده وطوری نصب گردیده است که همواره متوجه خورشید است و به وسیلهٔ یك دستگاه موتوردرتمام مدت‌روزهمراه حرکت‌خورشید می‌چرخد و نور وحرارت‌آن را درکانون اصلی‌خود متمرکز می‌کند. درجه حرارت (دما) درکانون آینه خیلی بالا می‌رود و ممکن است به 5000°C برسد.

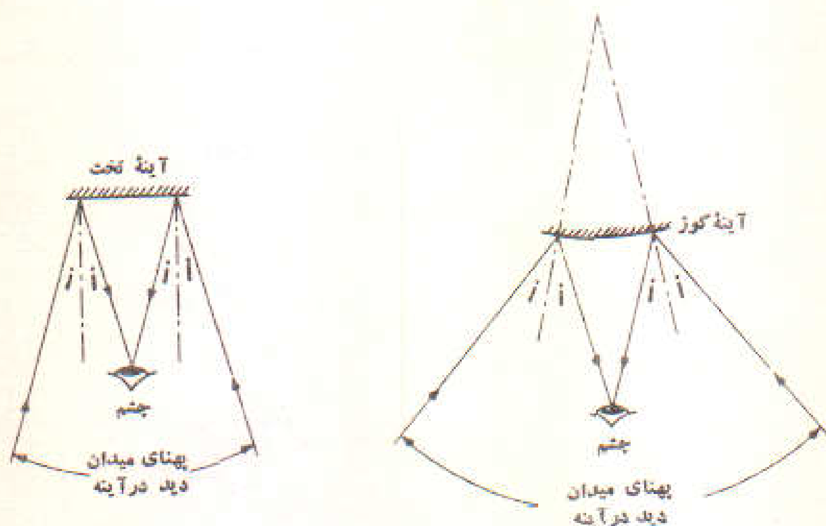
تشکیل تصویر در آینه‌های محدب (کوژ)

آینه‌های محدب برخلاف آینه‌های مقعر (که می‌توانند ازیك جسم تصویرحقیقی یا مجازی‌بدهند) از یك جسم فقط تصویر مجازی تشکیل می‌دهند. این تصویر همواره مستقیم وکوچکتر از جسم است و در فاصلهٔ بین F (کانون اصلی آینه) و P (میان آینه) تشکیل می‌شود (شکل ۳-۲۸).

آینه‌های محدب به‌سبب دادن تصویرمستقیم و داشتن میدان دیدگسترده در وسیله‌های نقلیه‌زیاد به‌کار می‌روند. در شکل ۳-۲۹ میدانهای دید یك آینهٔ محدب و یك‌آینهٔ تخت هم‌اندازه با هم مقایسه شده است.



شکل ۳-۲۸- تشکیل تصویر در آینهٔ محدب (کوژ)



شکل ۳-۲۹- میدان دید یک آینهٔ محدب ازمیدان دید یک آینهٔ تخت هم‌اندازهٔ آن گسترده‌تر است.

پرسش ۳-۹ - به‌نظر شما چه‌عواملی در میدان دید یک‌آینه (یعنی فضایی که در آینه توسط ناظر دیده می‌شود) مؤثر است؟

یک مثال عملی - می‌خواهیم به وسیلهٔ رسم دقیق، جای و بزرگی تصویر یک شیء به طول ۵ سانتیمتر راکه درفاصلهٔ ۳۴ سانتیمتری آینهٔ مقعری به فاصلهٔ کانونی ۲۰ سانتیمتر عمود برمحور اصلی آن قرارداده شده است پیدا کنیم.

برای این منظور بهتر این است که از کاغذ میلیمتری یا کاغذ شطرنجی استفاده کنیم وطول ضلع هر مربع روی کاغذ را هرچه باشد به عنوان واحد (دراینجا یک سانتیمتر) به‌کار بریم (شکل ۳-۳۰). در این شکل خط MPM' نمایش آینهٔ مقعر و خط CP که برآن عمود است نمایش محور اصلی آینه است. شیء به‌خط OA به طول ۵ برابرواحدانتخابی نمایش داده شده است و به فاصلهٔ ۳۴ واحد ازنقطهٔ P (میان‌آینه) قراردارد وعمود برمحور اصلی است. فاصلهٔ کانونی آینه‌هم۲۰ برابرواحدانتخاب‌شده است.

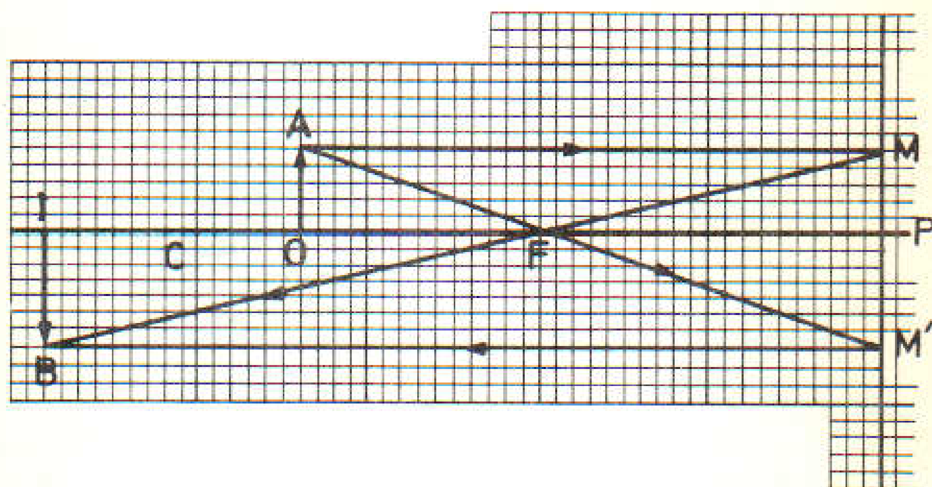
برای تعیین جای تصویر، دو پرتو تابش از نقطهٔ A رسم شده است: پرتوی که موازی با محور اصلی است و پرتوی که از کانون گذشته است. این دو پرتو پس از بازتابیدن از روی آینه در نقطهٔ B به هم می‌رسند. بدیهی است نقطهٔ B تصویر حقیقی نقطهٔ A و خط IB که عمود بر محور اصلی است تصویر کامل شیٔ OA است. به‌طوری که در شکل دیده می‌شود این تصویر در فاصلهٔ ۴۹ سانتیمتری نقطهٔ P واقع است و وارونه و به طول ۷ سانتیمتر است.

می‌توانیم بی آن که مسیر پرتوها را رسم کنیم جای و بزرگی تصویر را از راه محاسبه نیز به‌دست آوریم: اگر فاصلهٔ شیٔ را از آینه به p (یعنی OP = p) و فاصلهٔ تصویر آن را از آینه به q (IP = q) و فاصلهٔ کانونی آینه را چنان که دیدیم به f نمایش دهیم، با استفاده از شکل (۳ـ۳۰) ثابت می‌شود که بین p و q و f این رابطه برقرار است:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad (۳-۱)$$

در صورتی که p (فاصلهٔ شیٔ از آینه) و f (فاصلهٔ کانونی) مشخص باشند q (فاصلهٔ تصویر از آینه) به‌آسانی حساب می‌شود.

پرسش ۳ـ۱۰ ـ چگونه می‌توانید از تشابه مثلثها در شکل ۳ـ۳۰ این رابطه را به‌دست آورید؟



شکل ۳ـ۳۰

داده‌ها	نتیجه‌ها
آینهٔ مقعر : MM′	تصویر IB:
فاصلهٔ کانونی: PF = ۲۰cm	۱) در فاصلهٔ ۴۹cm از نقطهٔ P است.
شیٔ OA به طول ۵cm	۲) به‌طول ۷cm است.
فاصلهٔ شیٔ از آینه PO = ۳۴ cm	۳) حقیقی است.
	۴) وارونه است.

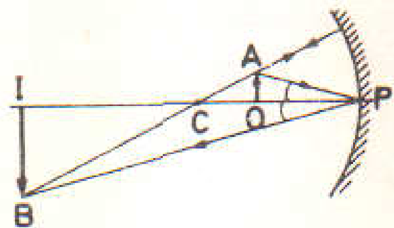
بزرگنمایی آینه

چون بزرگی تصویر دریک آینهٔ کروی، بسته به‌جای شیء، متغیراست درمسائل مربوط به‌آینه‌های کروی به‌جای صحبت از بزرگی تصویر، معمولا از بزرگنمایی آینه بحث می‌شود.

بزرگنمایی یك آینه بنا به تعریف عبارت است از:

$$\frac{IB}{OA}=\frac{\text{بلندی تصویر}}{\text{بلندی شی}}=\text{بزرگنمایی آینه}$$

ازتشابه دومثلث AOP و BIP (درشکل ۳-۳۱) به‌آسانی نتیجه گرفته می‌شود که:



شکل ۳-۳۱

OA=شی IB= تصویر

$$\frac{IB}{OA}=\frac{IP\ \text{فاصلهٔ تصویر از آینه}}{OP\ \text{فاصلهٔ شیء ازآینه}}$$

بنابراین:

$$\text{بزرگنمایی آینه}=\frac{IB}{OA}=\frac{q}{p} \qquad (۳-۲)$$

به‌کمك رابطهٔ (۳-۱) جای تصویر نسبت به آینه و به کمك رابطهٔ (۳-۲) بزرگی آن مشخص می‌شود.

چون این رابطه‌ها درمورد آینه‌های مقعر و محدب، هم برای تصویر حقیقی وهم برای تصویر مجازی هر دو صادق است باید برای اندازه‌های p و q و f، بنا به قرارداد، علامتهای جبری در نظر بگیریم به طوری که این رابطه‌ها در هرحال به کار روند. برای این منظورمی‌توانیم یکی ازدوقرارداد زیر را به‌کار بریم:[1]

الف- قرارداد «جهت تابش نور مثبت است»

در این قرارداد:

۱- آینه مبدأ سنجش تمام فاصله‌هاست؛

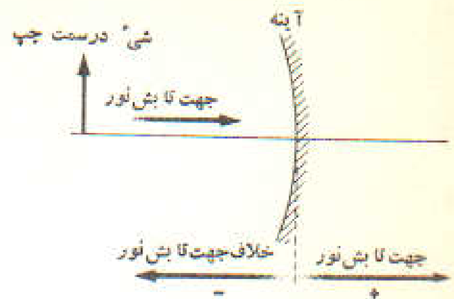
۲- اندازهٔفاصله‌ها درجهت‌تابش‌نور باعلامت مثبت منظور می‌شود؛

۳- اندازهٔ فاصله درخلاف جهت تابش نوربا علامت منفی درنظر گرفته می‌شود.

در این قرارداد فاصلهٔ کانونی آینهٔ مقعر با علامت منفی وفاصلهٔ کانونی آینهٔ محدب با علامت مثبت در نظر گرفته می‌شود. زیرا این فاصله‌ها به ترتیب درخلاف جهت تابش نور وهم‌جهت با تابش نور هستند. یکی ازمزایای این قرارداد آن است که اگر شیء در طرف چپ آینه قرارگیرد می‌توانیم علامتهای‌جبری‌متداول‌راکه‌روی محورهای‌مختصات در نظر گرفته می‌شوند به‌کار بریم (شکل ۳-۳۲)،

۱- برای حل مسائل‌آینه‌ها لازم نیست ازهردوروش استفاده کنید بلکه هرکدام راکه درخور ذوق وسلیقهٔ خود می‌یابید به‌کار برید.

یعنی فاصله‌ها را ازچپ به راست با علامت مثبت و از راست به‌چپ با علامت منفی منظورداریم.



شکل ۳-۳۲- قرارداد «جهت‌تابش نور مثبت».

ب - قرارداد «حقیقی مثبت است» در این قرارداد:

۱- آینه مبدأ سنجش تمام فاصله‌هاست؛

۲- فاصلهٔ هرشیٔ یا هرتصویر حقیقی ازآینه با علامت مثبت منظور می‌شود؛

۳- فاصلهٔ هر شیٔ[1] یا هر تصویر مجازی از آینه باعلامت منفی منظور می‌شود.

چون کانون آینهٔ مقعر حقیقی و کانون آینهٔ محدب مجازی است، دراین قرارداد، فاصلهٔ کانونی آینهٔ مقعر مثبت وفاصلهٔ کانونی آینهٔ محدب منفی‌در نظر گرفته می‌شود.

چند مثال

۱- شیئی را ابتدا در فاصلهٔ ۲۰ سانتیمتری، سپس در فاصلهٔ ۴ سانتیمتری آینهٔ مقعری که فاصلهٔ کانونی آن ۱۲ سانتیمتراست روی محور اصلی‌آینه قرار می‌دهیم. نوع وجای تصویرآن را دردوحالت پیدا کنید.

۲- آینهٔ مقعری از یك شی به طول ۲/۵ میلیمتر که در فاصلهٔ ۵ سانتیمتری آن واقع شده تصویری حقیقی به طول یك سانتیمتر تشکیل داده است.جای‌تصویر وفاصلهٔ‌کانونی‌آینه‌را حساب کنید.

۳- آینهٔ محدبی به فاصله کانونی۱۸ سانتیمتر از یك شی حقیقی تصویری درروی محوراصلی‌خود

بنا به قرارداد «جهت تابش نورمثبت است»

حالت یکم- داریم:

$p = -۲۰cm$ (شیٔ درطرف چپ آینه)

$f = -۱۲cm$

این اندازه‌ها را درفرمول قرار می‌دهیم:

$$\frac{۱}{-۲۰} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{-۱۲}$$

بنا به قرارداد «حقیقی‌مثبت است»

حالت یکم- داریم:

$p = +۲۰cm$ (شیٔ حقیقی)

$f = +۱۲cm$

این اندازه‌ها را درفرمول قرارمی‌دهیم:

$$\frac{۱}{۲۰} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{۱۲}$$

۱- شیٔ مجازی وجود ندارد ولی چنین تعریف می‌شود:
هرگاه درمسیر پرتوهای همگرا وتشکیل دهندهٔ یك تصویر حقیقی (مثلا پرتوهایی‌که ازروی یك آینهٔ‌مقعر بازتابیده می‌شوند) آینه‌ای (یا اسباب نوری دیگری) قرارداده شود آن تصویر دیگر تشکیل نمی‌شود و برای این آینه (یا اسباب نوری) درحکم شیٔ مجازی است.

تشکیل داده است که فاصلهٔ آن از آینه ۶ سانتیمتر است. فاصلهٔ جسم را از آینه حساب کنید.

درنتیجه: $q=-30cm$ علامت(−) نشان می‌دهد که تصویر در همان طرف شیٔ است بنابراین یك تصویرحقیقی در فاصلهٔ ۳۰ سانتیمتری آینه درهمان طرف شیٔ تشکیل می‌شود. حالت دوم- $p=-4cm$ بنابراین $\frac{1}{-4}+\frac{1}{q}=\frac{1}{-12}$ درنتیجه $q=+6cm$ علامت (+) نشان می‌دهدکه تصویر در طرف راست‌آینه (یعنی پشت‌آینه) است، بنابراین مجازی و درفاصلهٔ ۶ سانتیمتری آینه است.	در نتیجه $q=+30cm$ علامت(+) نشان می‌دهدکه تصویرحقیقی است، بنابراین یك تصویر حقیقی درفاصلهٔ ۳۰ سانتیمتری آینه تشکیل می‌شود. حالت دوم- $p=+4cm$ بنابراین $\frac{1}{4}+\frac{1}{q}=\frac{1}{12}$ در نتیجه $q=-6cm$ علامت (−) نشان می‌دهد که تصویر مجازی است، بنابراین تصویر مجازی ودرفاصلهٔ ۶ سانتیمتری آینه تشکیل می‌شود.

بنا به‌قرارداد «جهت تابش‌نورمثبت است» داریم: (شیٔ درطرف چپ آینه) $p=-5cm$ و : $\frac{\text{طول تصویر}}{\text{طول شیٔ}}=\frac{\text{فاصلهٔ تصویر ازآینه}}{\text{فاصلهٔ شیٔ ازآینه}}$ یا : $\frac{1}{0/25}=\frac{q}{-5}$ و ازآنجا: $q=-20cm$ بنابراین‌تصویردرفاصلهٔ۲۰ سانتیمتری‌آینه و درهمان طرفی است‌که شیٔ قراردارد. ازطرف دیگر داریم: $\frac{1}{-5}+\frac{1}{-20}=\frac{1}{f}$ یا: $f=-4cm$	بنا به قرارداد «حقیقی مثبت است» داریم: $p=5cm$ و : $\frac{\text{طول تصویر}}{\text{طول شیٔ}}=\frac{\text{فاصلهٔ تصویر ازآینه}}{\text{فاصلهٔ شیٔ ازآینه}}$ یا : $\frac{1}{0/25}=\frac{q}{5}$ و ازآنجا: $q=20cm$ بنابراین، فاصلهٔ این تصویرحقیقی از آینه ۲۰ سانتیمتر است. از طرف دیگرداریم: $\frac{1}{+5}+\frac{1}{+20}=\frac{1}{f}$ یا: $f=+4cm$

بنابه قرارداد «جهت تابش نورمثبت‌است» داریم: (تصویر درطرف‌راست‌آینه) $q=+6cm$

(آینه محدب است) $f=+18cm$

این اندازه‌ها را درفرمول قرارمی‌دهیم:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{6}=\frac{1}{18}$$

درنتیجه $p=-9cm$

یعنی فاصلهٔ شیٔ از آینه ۹سانتیمتراست و شیٔ درطرف چپ آینه قرار دارد.

بنا به‌قرارداد «حقیقی مثبت است» داریم:

(تصویر مجازی است) $q=-6cm$

(کانون مجازی است) $f=-18cm$

این اندازه‌ها را درفرمول قرارمی‌دهیم:

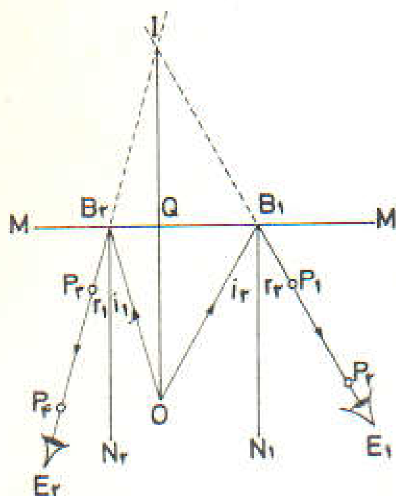
$$\frac{1}{p}+\frac{1}{-6}=\frac{1}{-18}$$

درنتیجه $p=+9cm$

یعنی فاصلهٔ شیٔ ازآینه ۹ سانتیمتر است و شیٔ حقیقی است.

خودتان آزمایش کنید

۱) تحقیق کنید که هنگام بازتابش نور از روی یك‌آینه زاویهٔ تابش برابر زاویهٔ بازتابش است. یك صفحه کاغذ روی سطح میز چوبی یا تخته افقی بگسترانید و یك آینهٔ تخت باریك عمود بر صفحهٔ کاغذ روی‌آن قراردهید. **سنجاق O را (شکل ۳-۳۳) درحدود فاصلهٔ ۱۰ سانتیمتری آینه نصب کنید وازنقطه‌ای** مانند E_1 درآینه نگاه کنید تا تصویر سنجاق را در آن ببینید. دوسنجاق دیگر P_1 و P_2 را طوری روی صفحهٔ کاغذ نصب کنیدکه هر دوی آنها را با تصویر سنجاق O در آینه (یعنی I) در یك راستا ببینید.سپس‌سنجاقهای P_1 و P_2 را بردارید وجای آنها را به‌دقت روی صفحهٔ کاغذ با گذاشتن دو نقطه توسط مداد مشخص نمایید.با تغییردادن جای چشم از E_1 به E_2 آزمایش را تکرار کنید ونقاط P_3 و P_4 را به دست آورید. خط MM' را که نمایش اثرتماس آینه با کاغذ ومعرف سطح بازتابندهٔ پرتوهاست روی صفحهٔ‌کاغذ رسم‌کنید و آینه را بردارید.نقطه‌های P_1 و P_2 را (درآزمایش اول) وP_3وP_4را(درآزمایش‌دوم)به‌هم وصل‌کنید. محل برخوردامتدادهای دوخط P_1P_2 و P_3P_4 در پشت آینه نقطهٔ Iخواهدبودکه جای تصویرسنجاق O است. خطهای OB_1 و OB_2 نمایش پرتوهای تابش‌وخطهای B_1P_2 و B_2P_4 نمایش

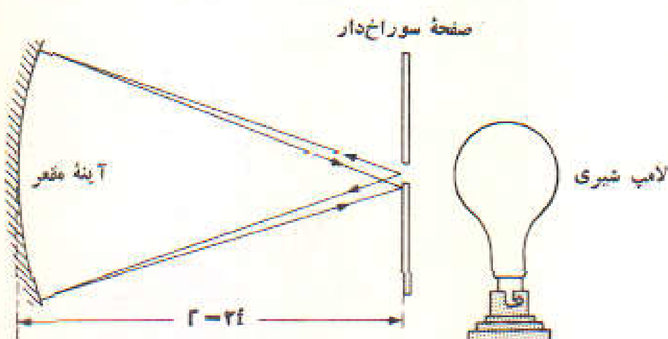


شکل ۳-۳۳- تحقیق تجربی قانون‌بازتابش نور

پرتوهای بازتابش خواهند بود. دو خط $B_1 N_1$ و $B_2 N_2$ را در دو نقطهٔ B_1 و B_2 عمود بر اثر آینه (یعنی خط MM') رسم کنید و زاویه‌های تابش i_1 و i_2 و بازتابش r_1 و r_2 را اندازه بگیرید و درستی قانون $i = r$ را بررسی کنید.

۲) فاصلهٔ کانونی یک آینه مقعر را تعیین کنید ــ الف **درشکل ۳-۲۱ دیدید که اگر شیء در مرکز آینهٔ** مقعری قرار گیرد تصویر آن حقیقی و درخود مرکز تشکیل می‌شود. این واقعیت را می‌توانید برای اندازه گیری فاصلهٔ کانونی آینهٔ مقعر به کار برید:

صفحهٔ فلزی سفید و نازکی را که دروسط سوراخی دارد آماده‌کرده آن را روی پایه‌ای نصب کنید. صفحه را از پشت به‌وسیلهٔ لامپ الکتریکی روشن کنید. آینهٔ مقعری را جلو صفحه بگذارید و آن قدر آینه **را جلو و عقب ببرید تا تصویر واضح سوراخ را نزدیک سوراخ برصفحه ببینید (شکل ۳-۳۴). بهتر این** است که یک رشته سیم نازک درامتداد قطرسوراخ روی صفحه نصب کنید تا تصویر سوراخ برروی صفحه کاملاً واضح دیده شود. دراین حالت فاصلهٔ صفحه ازآینه برابر شعاع آینه یا دوبرابر فاصلهٔ کانونی آن است. یعنی $r = 2f$ و $f = \frac{r}{2}$



شکل ۳-۳۴- تعیین فاصلهٔ کانونی آینهٔ مقعر.

ب- می‌توانید به کمک رابطهٔ $\frac{1}{f} = \frac{1}{q} + \frac{1}{p}$ فاصلهٔ کانونی آینهٔ مقعر را پیدا کنید:

شیء کوچک روشنی (مثلاً یک شمع کوچک روشن) راروی پایه‌ای قراردهید وآن را جلوآینهٔ مقعری بگذارید به طوری که عمود برمحور اصلی آینه قرارگیرد. آینه یا شیء را آن قدر جا به‌جا کنید تا تصویر حقیقی و بزرگتر واضحی ازآن برروی یک صفحهٔ شیشه‌ای مات به دست آورید. سپس فاصلهٔ شیء (p) و فاصلهٔ تصویر (q) را ازآینه به‌دقت اندازه بگیرید و ازروی رابطهٔ $f = \frac{pq}{p+q}$ فاصلهٔ کانونی f را حساب کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) قانونهای بازتابش نور را از روی آینهٔ تخت شرح دهید.

۲) با بیان یك آزمایش نشان دهیدکه فاصلهٔ تصویر از آینهٔ تخت برابر فاصلهٔ شیٔ از آینه است.

۳) با رسم شکل نشان دهیدکه:

الف ـ هرگاه یك شیٔ بین دو آینهٔ تخت عمود برهم قرارگیرد سه تصویر مجازی از آن در آینه تشکیل می‌شود.

ب ـ چگونه در پریسکوپ تصویر یك شیٔ دیده می‌شود.

۴) با رسم یك شکل توضیح دهید چگونه تصویر یك نقطهٔ روشن درآینهٔ تخت دیده می‌شود.

۵) فرق بین بازتابش منظم و پخش نورچیست؟ چرا صفحه‌های غیرصیقلی کتاب ازصفحه‌های خیلی صیقلی و براق بهتر است؟

۶) یك پرتو نور طوری به آینه تختی می‌تابدکه زاویهٔ بین این پرتو و پرتوبازتابیدهٔ آن ۲۰درجه است. بدون این‌که راستای پرتو تابش را تغییر دهیم آینه را به اندازهٔ ۱۵ درجه به‌دور محوری‌که عمود برسطح تابش است (یعنی عمود برسطحی که شامل پرتوهای تابش و بازتابش است) می‌چرخانیم. در این حالت زاویهٔ بین پرتو تابش و پرتو بازتابش چند درجه خواهد شد؟

۷) مدادی را مقابل آینهٔ تختی موازی با سطح‌آینه نگاه داشته‌ایم وتصویر آن را درآینه‌می‌بینیم. اگر مدادرا به اندازهٔ ۹۰ درجه بچرخانیم به طوری که راستای آن برسطح آینه عمود شود زاویهٔ بین مداد وتصویرش چند درجه تغییر خواهدکرد؟

۸) با رسم شکل دقیق ، مرکز انحنا، محور اصلی و کانون اصلی آینهٔ کروی (مقعر و محدب) را نشان دهید.

۹) یك پرتو نورانی از مرکز آینهٔ مقعری‌گذشته و برسطح آینه تابیده است. زاویهٔ تابش این پرتو چند درجه است؟ بازتابش آن چگونه است؟

۱۰) هرگاه یك شیٔ به موازات امتداد خود از بی‌نهایت تا مرکز آینهٔ مقعری به آینه نزدیك شود تصویرش در آینه در چه ناحیه‌ای تغییر مکان می‌دهد؟ با رسم یك شکل پاسخ خود را مجسم‌کنید.

۱۱) با رسم یك‌شکل نشان دهید چگونه یك آینهٔ مقعر از یك شیٔ که جلوآن است تصویرمستقیم می‌دهد. یکی ازکاربردهای عملی آینه را در این حالت بیان‌کنید.

۱۲) تصویر حقیقی با تصویر مجازی چه تفاوتی دارد؟ با رسم شکل نشان دهید که یك آینهٔ مقعر چگونه می‌تواند از یك شیٔ که درجلو آن قرار می‌گیرد هم تصویرحقیقی و هم تصویر مجازی بدهد.

۱۳) چگونه می‌توان جای مرکز انحنای یك آینهٔ‌کروی مقعر را تعیین‌کرد؟

۱۴) یك شمع ویك آینهٔ مقعر دراختیار داریم:

الف ـ شمع را کجا باید قراردهیم تا تصویر آن درآینه معکوس و بزرگتر ازخود شمع باشد؟

ب- شمع را کجا باید قراردهیم تا تصویر آن به اندازهٔ خود شمع باشد؟ دربارهٔ پاسخهای خود با رسم شکل توضیح دهید.

۱۵) با رسم شکل نشان دهیدکه چگونه می‌توان برای به دست آوردن یك دسته پرتو نور موازی از یك آینهٔ شلجمی و یك نقطهٔ نورانی استفاده‌کرد؟

۱۶) روی یك صفحهٔ کاغذ، نیمدایره‌ای به‌شعاع ۱۰ سانتیمتررسم‌کنید وآن را درحکم یك آینهٔ‌مقعر بگیرید. دوشعاع موازی دردوطرف محور اصلی آن طوری رسم‌کنید که فاصلهٔ هریك از آنها از محور ۶ سانتیمتر باشد. با استفاده ازقانونهای بازتابش‌نور، نقطه‌ای را پیدا کنیدکه بازتابش این پرتوها درآنجا به هم می‌رسند.

این روش را روی همین شکل با رسم دوپرتو دیگر که فاصلهٔ آنها از محور ۲ سانتیمتر باشد تکرار کنید ودربارهٔ نتیجه‌هایی که به‌دست می‌آورید بحث‌کنید.

۱۷) چرا دروسایط نقلیه اغلب ازآینه‌های محدب استفاده می‌شود؟

۱۸) هرگاه یك شیٔ به موازات خود از بی‌نهایت تا سطح آینهٔ محدبی به‌آن نزدیك شود تصویرش درآینه درچه ناحیه‌ای تغییرمکان می‌دهد؟ جهت تغییرمکان شیٔ وتصویر نسبت به‌هم چگونه است؟ نشان دهیدکه این تصویرهمواره مستقیم ومجازی است.

۱۹) یك دسته پرتو همگرا به‌آینه تختی می‌تابد. این دسته پرتو پس‌از بازتابش از روی آینه:

۱- تصویر حقیقی تشکیل می‌دهد.

۲- تصویر مجازی تشکیل می‌دهد.

۳- تصویر تشکیل نمی‌دهد.

۴- دوتصویر، یکی حقیقی ویکی مجازی تشکیل می‌دهد.

پاسخ درست را با رسم شکل مشخص کنید.

۲۰) توسط آینه محدبی از یك شیئی تصویری بر روی پرده‌ای به‌دست آمده است. این شیء:

۱- الزاماً حقیقی است.

۲- الزاماً مجازی است.

۳- ممکن است حقیقی یا مجازی باشد.

پاسخ درست را با رسم یك شکل مشخص کنید.

۲۱) اگر با یك آینه مقعر و یك نقطه نورانی بخواهیم یك دسته پرتو همگرا بسازیم نقطه نورانی را در چه‌وضعی نسبت به‌آینه باید قرار دهیم؟

۱- روی کانون آینه

۲- خارج از فاصلهٔ کانونی آینه

۳- در فاصلهٔ کانونی آینه

۴ـ روی خود آینه.

در پاسخ درست بحث کنید.

۲۲) یك آینه کروی از شیئی حقیقی تصویر مجازی داده است که بزرگی آن دوبرابر شیء است:

۱ـ آینه مقعر وشیء بین کانون ومرکز آن است.

۲ـ آینه مقعر وشیء بین مرکز آن و بینهایت است.

۳ـ آینه مقعر و شیء در فاصله کانونی آن است.

۴ـ آینه محدب وشیء نزدیك بەرأس آن است.

پاسخ درست را با رسم شکل مشخص کنید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) شخصی مقابل آینهٔ تختی ایستاده است و تصویر خود را در آن می‌بیند. هرگاه شخص و آینه هریك با سرعت ۲ متر برثانیه به هم نزدیك شوند سرعت انتقال تصویر درآینه چند متر برثانیه است؟

۲) شخصی جلو یك آینهٔ تخت درفاصلهٔ دومتری آن ایستاده است وتصویر تابلویی را که درفاصلهٔ ۱/۵ متری پشت سر او به دیوار آویزان است در آینه می‌بیند. تصویر تابلو درچه فاصله از او در آینه تشکیل شده است؟

۳) آینه تختی به طول ۱۰ سانتی‌متر به دیوار آویخته شده و ناظری در فاصله یك متری مقابل آن ایستاده است وتصویر درختی را که در فاصله ۵۰ متری آینه است در آن می‌بیند اگر از دید این ناظر تصویر درخت تمام طول آینه را فراگرفته باشد ارتفاع درخت را حساب کنید.

جواب: ۵/۱ متر

۴) با رسم یك شکل نشان دهید شخصی که بلندی قامتش ۱۸۰ سانتیمتر است برای دیدن تصویر تمام قد خود در آینهٔ تختی که به دیوار آویخته شده است احتیاج به آینه‌ای که بلندی آن ۱۸۰ سانتیمتر باشد ندارد.

اگر فرضاً چشمان این شخص ۱۲ سانتیمتر پایین‌تر از بالاترین قسمت سر اوقرارگرفته باشد حداقل بلندی آینه وفاصلهٔ آن ازکف اتاق چه‌اندازه باید باشد؟

۵) یك آینهٔ مقعر به شعاع ۳۰ سانتیمتر از شیئی که در مقابل آن است تصویر حقیقی روی محور اصلی آینه وعمود برآن تشکیل داده است که چهار برابر شیْ است. جای شیْ وتصویر را پیداکنید و با رسم شکل دقیقی روی کاغذ میلیمتری درستی محاسبات خود را بررسی‌کنید.

۶) شعاع آینهٔ مقعری ۲۰ سانتیمتر است. شیئی عمود برمحور اصلی، در فاصلهٔ ۱۵ سانتیمتری این آینه قرارداده شده است. مطلوب است:

الف‌ـ فاصلهٔ تصویر ازآینه؛

ب- بزرگنمایی آینه؛

ج- نوع تصویر.

۷) شیئی به‌طول ۲ سانتیمتر درفاصلهٔ ۴۰ سانتیمتری‌آینهٔ مقعری عمود برمحور اصلی آن قراردارد. اگرفاصلهٔ کانونی آینه ۱۵ سانتیمترباشد به‌کمك محاسبه ورسم، بزرگی تصویر وفاصلهٔ آن‌را ازآینه به‌دست آورید.

۸) جسمی مقابل یك آینهٔ مقعر به شعاع ۳۰ سانتیمتر واقع است وتصویرمجازی ازآن در آینه دیده می‌شودکه بزرگی آن ۳ برابر بزرگی جسم است. فاصلهٔ تصویررا ازآینه تعیین کنید.

۹) شیئی به طول ۱ سانتیمتر درفاصلهٔ ۳۰ سانتیمتری آینهٔ محدبی عمود برمحور اصلی آن قرارداده شده است. اگرشعاع آینه ۴۰ سانتیمتر باشد جای تصویروطول آن را مشخص کنید.

۱۰) فاصلهٔ کانونی آینه کروی محدبی f است. شمعی‌را در چه‌فاصله از رأس این‌آینه باید قرار دهیم تا بزرگی تصویری که از آن بدست می‌آید نصف بزرگی شمع باشد؟

جواب: در فاصله f از رأس آینه

۱۱) یك آینهٔ کروی مقعر از شیئی که مقابل آن گذاشته شده است تصویری حقیقی می‌دهد که بزرگی آن n برابر بزرگی شیء است. فاصلهٔ این شیء را از کانون آینه برحسب f (فاصلهٔ کانونی آینه) بدست آورید و رابطه‌ای را که به‌دست می‌آورید برای $n=2$ و $n=\infty$ بررسی کنید.

۱۲) یك آینه تخت مقابل یك آینه کروی مقعر عمود بر محور اصلی آن قرار داده شده است. نقطه‌ای نورانی در فاصلهٔ بین دو آینه روی محور اصلی آینه مقعر واقع شده است و دسته پرتوهائی که از آن گسیل می‌شود پس‌از بازتابش متوالی از روی این دوآینه تصویر نقطه نورانی را در روی خود آن، تشکیل می‌دهد. اگر شعاع آینهٔ مقعر ۴ متر و فاصله رأس این آینه از نقطه نورانی و تصویرش ۳ متر باشد فاصلهٔ آینه تخت را از رأس آینهٔ مقعر حساب کنید.

جواب: ۴/۵ متر

پاسخ به پرسشهای متن

۳-۱) در روی خود پرتو تابش باز می‌تابد. زاویه‌های تابش و بازتاب هردوصفر است.

۳-۲) نوری‌که ازخورشید برروی زمین می‌تابد به اطراف پخش می‌شود و به‌اجسام درون اتاق یا به اجسام واقع درسایه می‌تابد و ازروی آنها دوباره پخش می‌شود وبدین سبب است که این اجسام دیده می‌شوند.

۳-۳) لایهٔ نقره‌ای‌که پشت شیشه کشیده شده است.

۳-۴) زیرا شیشه جسم شفافی است وقسمت بیشتر نور ازآن می گذرد و جزئی ازآن بازمی‌تابد.

۳-۵) بلی. کافی است ازهرنقطهٔ شیٔ خطی برآینه عمودکرد وآن خط را به‌اندازهٔ خودش درپشت آینه امتداد داد. انتهای خط، تصویرنقطهٔ مورد نظراست.

۳-۶) با روشی‌که در پاسخ ۳-۵ بیان شده است.

۳-۷) بلی. برای تعیین زاویه‌های تابش و بازتابش درهرنقطه، کافی است خط عمود برآینه را در آن نقطه رسم‌کرد. این خط ازمرکز آینه می‌گذرد (یعنی شعاع آینه در آن نقطه است).

۳-۸) زیرا طبق قانون بازتابش نور، زاویهٔ تابش برابرزاویهٔ بازتابش است و محور اصلی در این نقطه درحکم خط عمود برآینه است.

۳-۹) بزرگی سطح آینه ـ نوع آینه ـ فاصلهٔ چشم ازآینه.

۳-۱۰) درشکل ۳-۳۰ ازتشابه دومثلث AOF و FPM′ نتیجه می‌شود :

$$\frac{PM'=IB}{OA}=\frac{FP}{OF}=\frac{f}{p-f}$$

واز تشابه دومثلث FIB و FPM نتیجه می‌شود:

$$\frac{IB}{PM=OA}=\frac{q-f}{f}$$

از مقایسه این دورابطه نتیجه می‌شود:

$$\frac{f}{p-f}=\frac{q-f}{f}$$

یا

$$pq-qf-pf=0$$

اگرطرفین این رابطه را بر pqf تقسیم‌کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{1}{f}-\frac{1}{p}-\frac{1}{q}=0$$

یا

$$\boxed{\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}}$$

۴
شکست نور

یونانیان قدیم دربارهٔ کج شدن مسیر نورهنگامی که ازهوا وارد شیشه یا آب می‌شود (و ما امروزه آن را شکست نور می‌نامیم) چیزهایی می‌دانستند.

بطلمیوس ستاره‌شناس یونانی بدون این که قانون مشخصی را بیان کند در این باره آزمایشهایی انجام داد. این دانشمند یك دسته پرتو نور باریك را با زاویه‌های مختلف به شیشه و آب تاباند و زاویه‌های شکست آن را اندازه گرفت.

الحسن دانشمند اسلامی[1] آزمایشهای دقیق‌تری در این زمینه انجام داد و کار اندازه گیری را تا زاویهٔ تابش ۸۰ درجه ادامه دادو نسبت بین زاویه‌های تابش وشکست را حساب کرد. در اوایل قرن هفدهم میلادی کپلر ستاره‌شناس آلمانی به این مسئله علاقه‌مند شد ولی نتوانست رابطهٔ مشخصی بین زاویه‌های تابش و شکست، دراین پدیدهٔ به ظاهر ساده، به دست آورد. در سال ۱۶۲۱ میلادی اسنل[2] استاد ریاضی در یکی از دانشگاههای هلند رابطه‌ای به دست آورد که امروزه هم به‌نام خود او معروف است. اسنل دریافت‌که سینوس زاویهٔ تابش به‌سینوس زاویهٔ شکست مقدارثابتی‌است. درسال ۱۶۳۸ میلادی دکارت دانشمند فرانسوی جداگانه مطالبی‌دربارهٔ قانونهای شکست‌نور انتشار داد. شما هم می‌توانید براساس انتشار نور به‌خط راست با آزمایشهای ساده‌ای قانونهای شکست نوررا به‌دست‌آورید.

پدیدهٔ شکست‌نور

وقتی که به آب درون یك استخر پر از آب نگاه می‌کنیم عمق‌آب را به‌ظاهر کمتر ازآنچه هست می‌بینیم. هنگامی‌که قسمتی‌از یك قطعه چوب را به طور مایل درآب فرو می‌بریم و به‌آن نگاه می‌کنیم چوب را درمحل فرورفتن درآب شکسته می‌بینیم.

پرسش۴-۱- اگر چوب را تا قسمتی از آن به‌طورقائم‌درآب‌فروبریم‌چگونه به‌نظرخواهد رسید؟

۱- حسن‌بن هیثم بَصْری (۹۶۵ - ۱۰۳۹ ه. ق) معروف به‌الحسن فیزیکدان اسلامی.

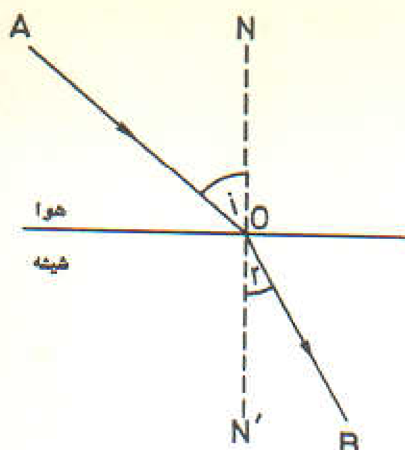
۲- Snell

در فصل تابستان وقتی که در جاده‌های گرم مسافرت می‌کنیم اغلب مواجه با پدیدهٔ سراب[1] می‌شویم. این پدیده‌ها و پدیده‌های دیگری مانند آنها با شکست نور ارتباط دارند.

شکست نور عبارت است از انحراف ناگهانی مسیر پرتوهای نور وقتی که به‌طور مایل از یک محیط شفاف، مانند هوا، وارد محیط شفاف دیگری مانند آب یا شیشه بشوند.

پرسش ۴-۲- اگر یک پرتو نور به‌طور عمودی برسطح یک محیط شفاف بتابد چگونه وارد این محیط می‌شود؟

شکل ۴-۱ مسیر پرتوی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه می‌شود و درجای ورود به‌شیشه شکست می‌یابد. اصطلاحاتی که درمورد شکست نور به کار می‌روند کنار شکل نوشته شده است.



شکل ۴-۱- شکست نور

AO = پرتو تابش

OB = پرتو شکست

NN′ = خط عمود برسطح مشترک دومحیط در نقطهٔ تابش O

∠i = زاویهٔ تابش

∠r = زاویهٔ شکست

زاویهٔ تابش «i» زاویه‌ای است که میان پرتو تابش و خط عمود درست می‌شود و زاویهٔ شکست «r» زاویه‌ای است که بین پرتو شکست و خط عمود تشکیل می‌گردد.

به خاطر سپردن این نکته مهم است که وقتی نور از هوا یا خلأ وارد مادهٔ چگالتری مانند شیشه یا آب می‌شود طوری می‌شکند که پرتو شکست به خط عمود نزدیکتر می‌شود. به‌عبارت دیگر، زاویهٔ شکست از زاویهٔ تابش کوچکتر است. برعکس، هنگامی که نور از ماده‌ای چگالتر ازهوا (مانند شیشه یا آب) وارد هوا می‌شود پرتو شکست ازخط عمود دور می‌گردد. درنتیجه زاویهٔ شکست از زاویهٔ تابش بزرگتر است.

پرسش ۴-۳- به نظر شما علت شکست نور به هنگام ورود از یک ماده به مادهٔ دیگر چیست؟

قانونهای شکست نور

درمقدمهٔ این بخش گفتیم که رابطهٔ بین زاویه‌های تابش و شکست، ابتدا توسط اسنل کشف شد و بعد توسط دکارت جداگانه بررسی و انتشار یافت. اکنون قانونهای شکست نور به نام قانونهای اسنل-دکارت چنین بیان می‌شوند:

قانون اول - پرتو تابش و پرتو شکست و خط عمود برسطح جداکنندهٔ دومحیط درنقطهٔ تابش، هرسه در یک صفحه هستند.

۱- پدیدهٔ سراب را درقسمت آخر این بخش خواهید آموخت.

قانون دوم ـ برای دو محیط شفاف معین، نسبت سینوس زاویهٔ تابش به سینوس زاویهٔ شکست مقداری ثابت است.

این مقدار ثابت را ضریب شکست محیط دوم (یعنی محیطی که پرتو شکست در آن قراردارد) نسبت به محیط اول (یعنی محیطی که پرتوتابش در آن واقع است) می‌نامند و آن را به حرف «n» نمایش می‌دهند. بنابراین قانون دوم شکست نور به این صورت نوشته می‌شود:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \qquad (۱-۴)$$

ضریب شکست هرمحیط نسبت به محیط دیگر بستگی به جنس دو محیط دارد. معمولاً ضریب شکست محیطهای شفاف را نسبت به هوا می‌سنجند، در این صورت n را ضریب شکست محیط دوم یا به‌اختصار ضریب شکست می‌نامند. مثلاً وقتی که گفته می‌شود ضریب شکست آب ۱/۳۳ است یعنی در واقع ضریب شکست آن نسبت به هوا ۱/۳۳ است. ولی اگر محیط اول خلأ فرض شود ضریب شکست محیط دوم نسبت به خلأ ضریب شکست مطلق نامیده می‌شود. در جدول ۴-۱ ضریب شکست چند مادهٔ شفاف که نسبت به هوا سنجیده شده‌اند تا سه رقم معنی‌دار داده شده‌است.

پرسش ۴-۴ـ یك دسته پرتوموازی باریك، با زاویهٔ تابش °۴۵ به سطح شیشه می‌تابد و وارد آن می‌شود. اگر ضریب شکست شیشه ۱/۵۲ باشد، زاویهٔ شکست چند درجه است؟

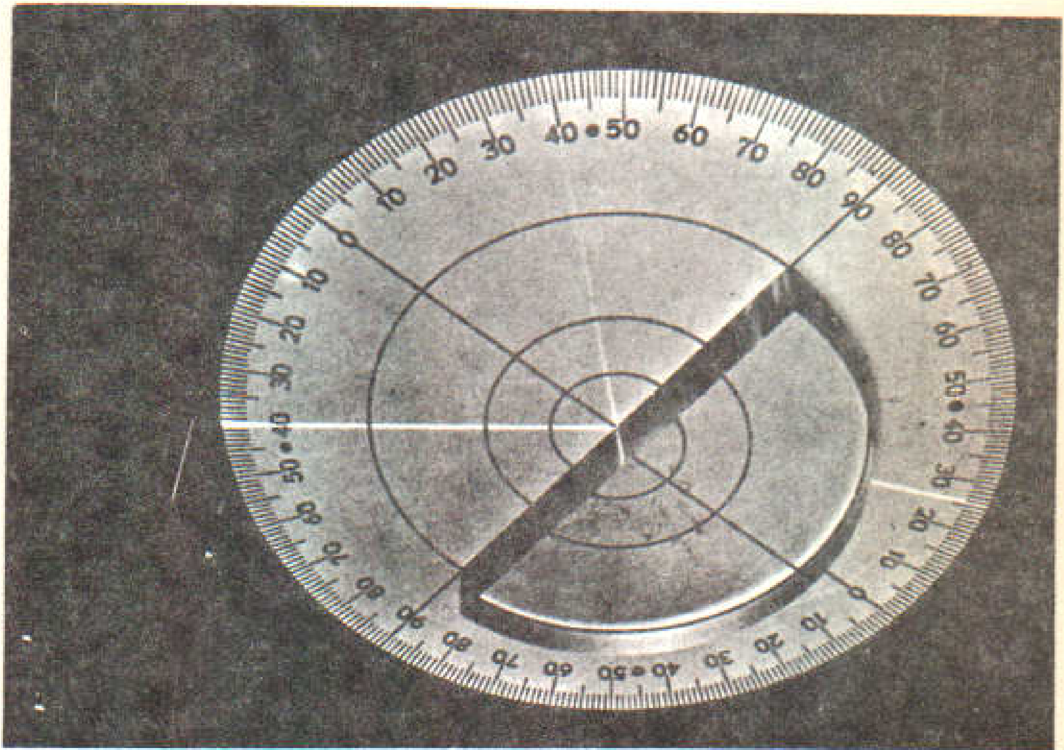
جدول ۴-۱ـ ضریب شکست پاره‌ای ازمواد شفاف

نوع ماده		ضریب شکست (n)
	هوا	۱/۰۰
مایع	آب	۱/۳۳
	بنزن	۱/۵۰
	سولفید کربن	۱/۶۳
جامد	کوارتز	۱/۴۶
	شیشهٔ کراون[1]	۱/۵۲
	شیشهٔ فلینت[2]	۱/۶۶
	پلکسی گلاس[3] (پلی اتیلن)	۱/۵۰
	الماس	۲/۴۲

۱ـ Crown glass ۲ـ Flint glass ۳ـ plexi glass

تحقیق تجربی قانون دوم شکست نور

شکل ۴-۲ اسبابی را نشان می‌دهد که به‌وسیلهٔ آن به‌آسانی می‌توان قانون دوم شکست نور را تحقیق کرد. نور از یک شکاف باریک بروجه مسطح نیم استوانهٔ کم ضخامتی که از شیشه یا پلی‌اتیلن (پلکسی گلاس) ساخته‌شده و روی صفحهٔ گرد مدرجی (برحسب درجه) نصب گردیده است می‌تابد. قسمتی از این پرتو از روی وجه مسطح نیم استوانه بازتابیده می‌شود وقسمتی دیگر وارد نیم استوانه می‌شود و در آن شکست می‌یابد. مسیر پرتوهای تابش وشکست روی صفحهٔ مدرج دیده می‌شود و زاویه‌های تابش و شکست به آسانی اندازه گرفته می‌شوند. می‌توان بدون تغییردادن راستای پرتو تابش، صفحهٔ مدرج (و درنتیجه نیم استوانهٔ شفاف) را چرخاند و زاویهٔ تابش را ازصفر تا نزدیک °۹۰ تغییر داد و برای هر زاویهٔ تابش، زاویهٔ شکست مربوط به آن را روی صفحهٔ مدرج اندازه گرفت و تحقیق کرد که نسبت $\frac{\sin i}{\sin r}$ همواره مقدار ثابتی است. این مقدار ثابت، همان ضریب شکست مادهٔ شفاف است که بااندازه‌گیری زاویه‌های i و r و تعیین سینوس این زاویه‌ها



شکل ۴-۲- تحقیق تجربی قانون دوم شکست نور:

زاویهٔ تابش $i = ۴۰^\circ$

زاویهٔ شکست $r = ۲۵^\circ \frac{۱}{۲}$

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{۰/۶۴۳}{۰/۴۳۱} \approx ۱/۵$$

از روی جدول سینوسها به‌آسانی حساب می‌شود.

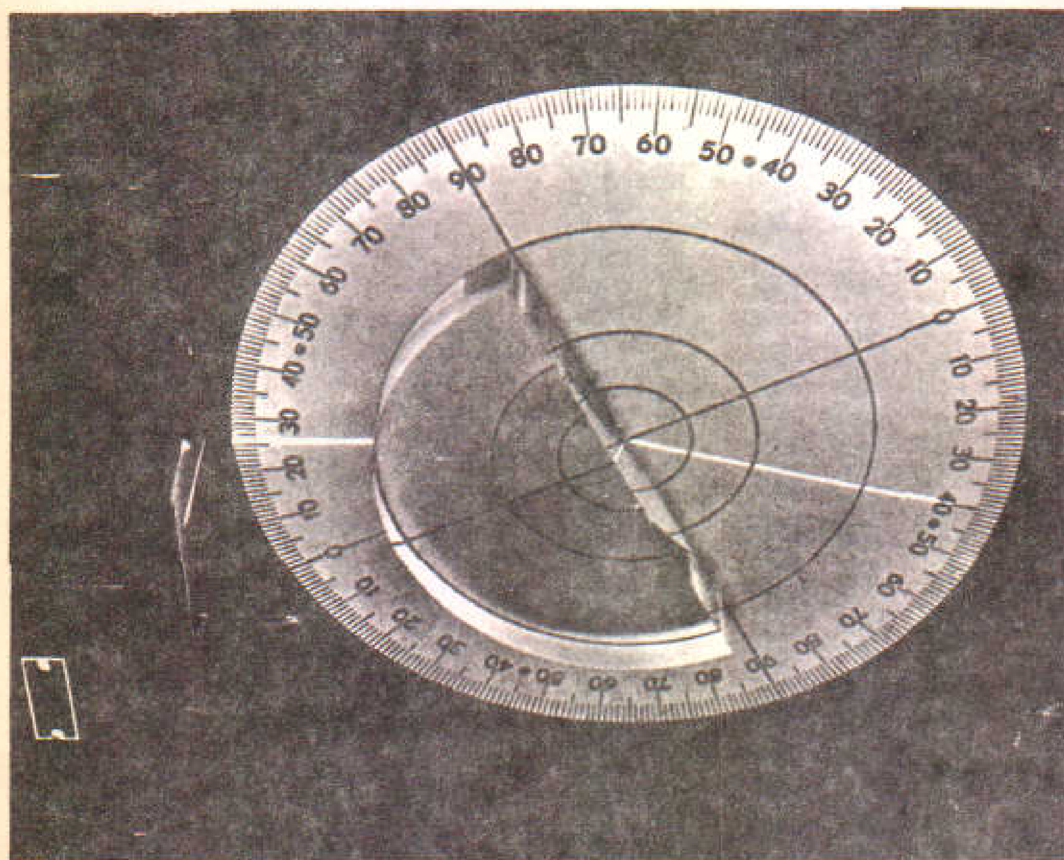
شکل۴ -۳ پرتوی را نشان می‌دهد که در راستای شعاع نیم استوانهٔشفاف بدون شکست‌وارد آن می‌شود وبه‌هنگام خروج ازنیم استوانه درروی وجه مسطح آن شکست می‌یابد ووارد هوا می‌شود به طوری‌که زاویهٔ شکست بزرگتر از زاویهٔ تابش است. مثل این‌است‌که جای پرتوهای تابش وشکست عوض شده است. به عبارت دیگر اصل بازگشت نور در مورد شکست نور نیزصادق است.

پرسش۴-۵- اگر n ضریب شکست شیشه نسبت به هواباشد ضریب‌شکست هوانسبت به‌شیشه چیست؟

مفهوم فیزیکی ضریب شکست

علت شکست نور، به‌هنگام عبور ازیك محیط به محیط دیگر، درواقع این است‌که سرعت نور در دومحیط مجاور هم متفاوت است.

هویگنس ضمن‌بررسی‌فرضیهٔ موجی بودن‌نور، با محاسبه نشان‌دادکه اگرV و V' به ترتیب‌سرعت نور درهوا ودرمحیط شفاف دیگرباشدبین این‌سرعتها



شکل۴-۳- اگرزاویهٔ تابش، درنیم استوانهٔ پلی‌اتیلنی، $25\frac{1}{2}°$ باشد زاویهٔ شکست‌درهوا $40°$ است (اصل بازگشت نور).

و زاویه‌های تابش i و شکست r این رابطه برقرار است:

$$\frac{\sin i}{V}=\frac{\sin r}{V'}$$

یا:

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{V}{V'}$$

از طرف دیگر داشتیم $\frac{\sin i}{\sin r}=n$

بنابراین:

ضریب شکست محیط شفاف نسبت به‌هوا

$$=n=\frac{V}{V'}=\frac{\text{سرعت نور درهوا}}{\text{سرعت نور درمحیط شفاف}}$$

(۴-۲)

مثلاً نسبت $\frac{\text{سرعت نور درهوا}}{\text{سرعت نور درآب}}$ برابر ۱/۳۳ است که این عدد درست برابر ضریب شکست آب است.

ضریب شکست نسبی

درنظر بگیرید که نور ازمحیط شفاف۱ (مثلا آب) به ضریب‌شکست n_1 وارد محیط‌شفاف ۲ (مثلاً شیشه) به‌ضریب شکست n_2 بشود. ضریب‌شکست محیط ۲ نسبت به محیط۱، که آن را به $n_{2,1}$ نمایش می‌دهیم چنین تعریف می‌شود:

$$n_{2,1}=\frac{n_2}{n_1}$$

$$=\frac{\text{ضریب شکست محیط دوم نسبت به‌هوا}}{\text{ضریب شکست محیط اول نسبت به‌هوا}}$$

(۴-۳)

پرسش ۴-۶- اگر i و r به‌ترتیب زاویه‌های تابش و شکست در دومحیط مجاور هم و n_1 و n_2 به ترتیب ضریب شکست این دومحیط باشد رابطهٔ اسنل- دکارت درمورد شکست نور بین این دومحیط به چه صورت نوشته می‌شود؟

اگر V'_1 و V'_2 به ترتیب سرعت نوردر دو محیط ۱و۲ باشد داریم $n_1=\frac{V}{V'_1}$ و $n_2=\frac{V}{V'_2}$ (V سرعت نور درهواست). بنابراین:

$$n_{2,1}=\frac{V}{V'_2}:\frac{V}{V'_1}=\frac{V'_1}{V'_2} \qquad (۴-۴)$$

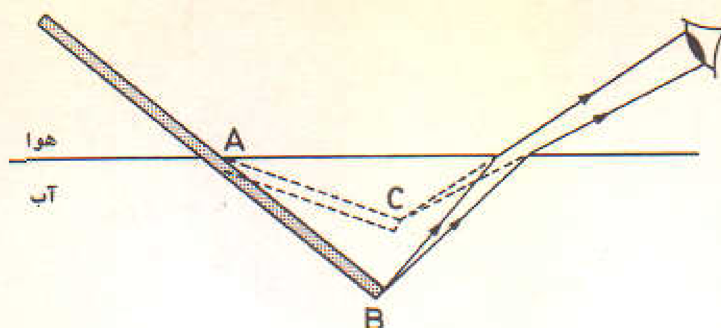
یعنی ضریب شکست نسبی‌محیط شفاف۲ نسبت به محیط شفاف۱ برابراست با خارج قسمت سرعت نور درمحیط۱ به سرعت نور درمحیط۲.

چند اثر ازشکست نور

۱- علت این که چوب درآب شکسته به نظر می‌رسد درشکل ۴-۴ بیان شده است:

پرتوهایی که از نقطهٔ B (انتهای چوب) به سوی چشم گسیل می‌شوند درسطح آب می‌شکنند و از خط عمود دور می‌شوند. به‌نظر می‌رسد که این پرتوها به‌جای نقطهٔ B از نقطهٔ C (محل برخورد امتداد پرتوهای شکست) به‌سوی چشم گسیل می‌شوند. بنابراین C تصویر B است که به‌علت‌شکست نور تشکیل می‌شود. همین استدلال درمورد نقاط دیگر قسمت AB چوب که درون‌آب است به کارمی‌رود، درنتیجه، ازاین قسمت چوب تصویر مجازی AC دیده می‌شودکه بالاتر از AB است.

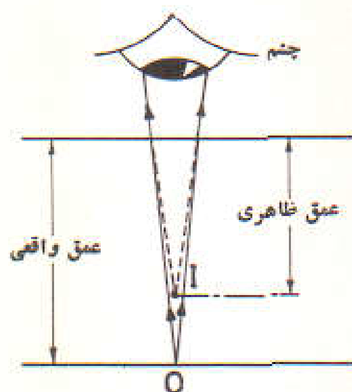
پرسش ۴-۷- هرگاه یك قطعه شیشهٔ ضخیم تخت‌راروی نوشته‌های صفحهٔ کتاب بگذاریم نوشته‌های زیر قطعهٔ شیشه اندکی بالاتر به‌نظر می‌رسند. علت چیست؟



شکل۴ -۴- چوب در آب شکسته به نظر می‌رسد.

۲- عمق ظاهری وحقیقی - وقتی که در راستای قائم به‌کف یك استخر پرآب نگاه می‌کنیم عمق ظاهری استخر فقط $\frac{۳}{۴}$ عمق واقعی آن به‌نظر می‌رسد. به همین ترتیب اگر به یك قطعه شیشهٔ ضخیم تخت از بالا درراستای قائم نگاه‌کنیم ضخامت ظاهری آن فقط $\frac{۲}{۳}$ ضخامت واقعیش به‌نظر می‌رسد.

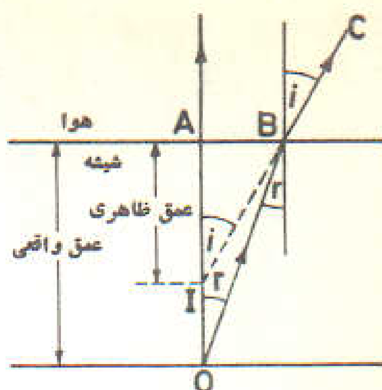
علت این پدیده‌درشکل۴-۵ توجیه شده‌است. پرتوهایی که از نقطهٔ O واقع درکف استخر (یا تـه شیشه) برسطح جداکنندهٔ آب وهوا (باشیشه وهوا) می‌تابند چون ازمحیط چگالتر از هوا مانند آب (یا شیشه) وارد هوا می‌شوند شکست می‌یابند و ازخط عمود دور می‌شوند. در نتیجه پرتوهایی کـه وارد مردمك چشم‌می‌شوند امتدادشان‌درنقطهٔ I که‌بالای نقطهٔ O است به هم می‌رسند. بنابراین چنین به نظر می‌رسدکه این پرتوها ازنقطهٔ I که تصویرمجازی O است به‌طرف چشم گسیل می‌شوند. درشکل۴ -۵، برای تجسم موضوع، قطر مردمك چشم بزرگتر از میـزان واقعی نشان داده شده است. درواقـع قطر مردمك چشم بـه اندازه‌ای است کـه فقط پرتوهای خیلی نزدیك به خط عمود وارد آن می‌شوند.



شکل۴-۵- عمق حقیقی وظاهری.

رابطهٔ ضریب شکست با عمق ظاهری وحقیقی - درشکل ۴-۶ چگونگی‌تعیین رابطهٔ ضریب شکست با عمقهای حقیقی و ظاهری نشان داده شده است. درنظر داشته باشیدکه چشم نـاظر روی خط عمود OA قراردارد وپرتو OBC به‌خط‌عمود خیلی‌نزدیك است به طوری که وارد چشم ناظر می‌شود. ولی درشکل، انحراف این پرتو ازخط‌عمود مبالغه آمیز است. چنین به‌نظرمی‌رسد که پرتو خروجی BC از نقطهٔ I، تصویر مجـازی نقطهٔ O، گسیل می‌شود. درنتیجه‌می‌توان گفت‌که AI نمایش‌عمق‌ظاهری‌است.

با توجه به اصل بازگشت نور ضریب‌شکست محیط چگالتر (آب یا شیشه) نسبت بـه هوا برابر



شکل ۴-۶

است با:

$$n=\frac{\sin i}{\sin r}$$

ولی برطبق شکل:

$$\angle AOB=r \text{ و } \angle AIB=i$$

بنابراین:

$$n=\frac{\sin\angle AIB}{\sin\angle AOB}$$

$$=\frac{AB}{BI}\Big/\frac{AB}{BO}=\frac{BO}{BI}\approx\frac{AO}{AI}$$

زیرا B خیلی به A نزدیك است. درنتیجه:

$$n=\frac{\text{عمق حقیقی}}{\text{عمق ظاهری}} \qquad (۴-۵)$$

۳ــ بازتابش کلی ــ زاویهٔ حد ــ دانستید هنگامی که پرتوهای نوراز یك محیط چگالتر که ضریب شکست بزرگتری دارد به محیط رقیق‌تری وارد می‌شوند از خط عمود دور می‌شوند، درنتیجه زاویهٔ شکست از زاویهٔ تابش بزرگتر است. بنابراین وقتی کــه زاویهٔ شکست به ۹۰ درجه برسد، زاویهٔ تابش به حد معینی می‌رسد که آن را زاویهٔ حد گویند.

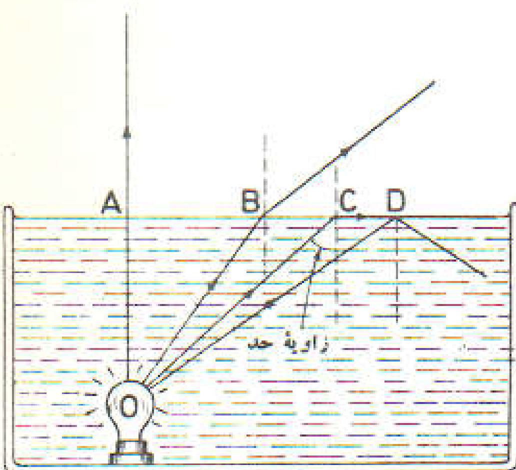
پرسش ۴ ــ ۸ــ بــه نظرشما زاویهٔ حد بــه چه عواملی می‌تواند بستگی داشته باشد؟

بدیهی است اگر پرتوی با زاویهٔ بزرگتر از زاویهٔ حد به سطح جدا کنندهٔ دو محیط بتابــد دیگر نمی‌تواند ازاین سطح بگــذرد و وارد محیط رقیق‌تر بشود بلکه از روی آن به درون محیط چگالتر بــاز می‌تابد. این پدیده را بازتابش کلی نــامیده‌اند. در شکل ۴-۷ پرتوهایی نشان داده شده است که ازدرون آب وارد هوا می‌شوند.

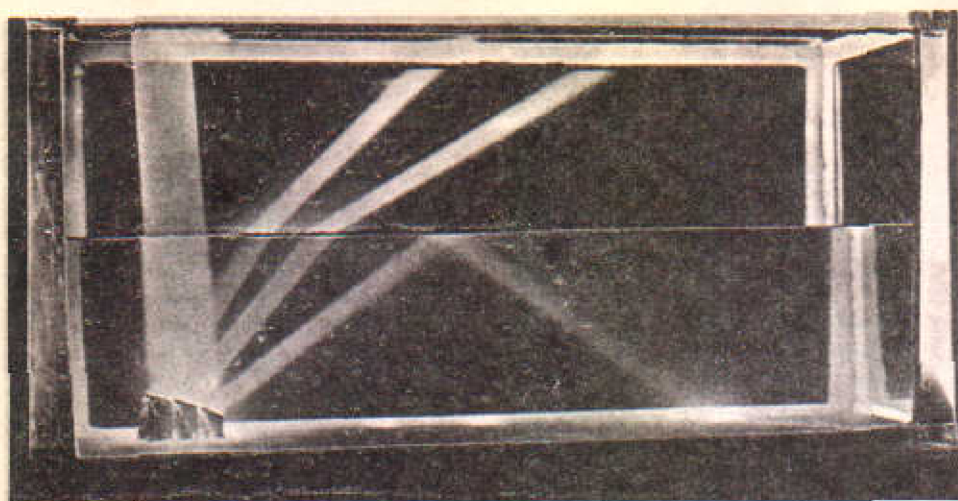
پرتو OA عمود برسطح آب می‌تابد و بدون شکست واردهوا می‌شود. پرتوOB با زاویهٔ تابشی کمتراز زاویهٔ حد به‌سطح آب تابیده است و درنتیجه ازسطح آب گذشته وارد هوا شده است.

پرتو OC با زاویهٔ حد بــه سطح آب تــابیده ومماس برسطح آب خارج شده است.

پرتو OD با زاویهٔ تابشی بزرگتر اززاویهٔ حد به سطح آب تابیده وبازتابش کلی یافته است.



شکل ۴-۷ــ پرتوی که با زاویهٔ تابش کوچکتر از زاویهٔ حد به‌سطح آب تابیده وارد هوا شده است.
پرتوی که با زاویهٔ تابش بزرگتر از زاویهٔ حد بــه سطح آب تابیده بازتابش کلی یافته است.



شکل ۴-۸- بازتابش کلی ازروی سطح آب.

شکل ۴-۸ یك منظرهٔ حقیقی از بازتابش کلی یك دسته پرتو را ازروی سطح آب نشان می‌دهد. دسته پرتوهایی که زاویهٔ تابش آنها از زاویهٔ حد کوچکتر است ازسطح آب گذشته ووارد هواشده‌اند.

پرسش ۴-۹- دریك آینهٔ تخت که شیشهٔ آن خیلی ضخیم است و پشت آن نقره‌اندود می‌باشد از یك شیٔ یك‌تصویر اصلی‌روشن‌وچند تصویر کمرنگ دیده می‌شود. آیا می‌توانید علت را توضیح‌دهید؟

رابطهٔ زاویهٔ حد باضریب شکست - زاویهٔ حد را می‌توان ازرابطهٔ اسنل- دکارت حساب کرد. درنظر بگیریم که نور از محیط چگالتر ۱ به ضریب شکست n_1 وارد محیط رقیق‌تر ۲ به ضریب شکست n_2 می‌شود وزاویه‌های تابش وشکست به ترتیب i و r است. ضریب شکست نسبی محیط ۲ نسبت‌به محیط ۱ چنان که دیدیم برابراست با:

$$n_{2,1}=\frac{n_2}{n_1}$$

بنابه رابطهٔ اسنل- دکارت:

$$\frac{\sin i}{\sin r}=n_{2,1}=\frac{n_2}{n_1}$$

اگر پرتو نور با زاویهٔ حد (که آن را به C نمایش می‌دهیم) به سطح جدا کنندهٔ دو محیط بتابد زاویهٔشکست ۹۰ درجه خواهد بود. بنابراین:

$$\frac{\sin C}{\sin 90^\circ}=\frac{n_2}{n_1}$$

چون $\sin 90^\circ = 1$ است پس:

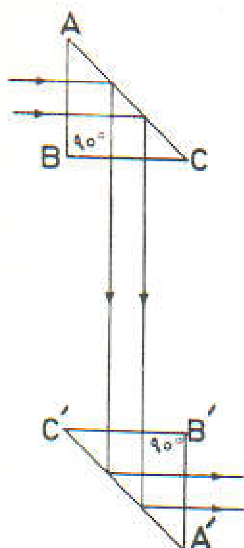
$$\sin C=\frac{n_2}{n_1} \qquad (۴-۶)$$

درصورتی که محیط دوم هوا باشد یعنی نور از یك محیط شفاف که ضریب شکست آن نسبت به هوا n است‌واردهوابشود $n_1=n$ و $n_2=1$ است‌و

$$\sin C=\frac{1}{n} \qquad (۴-۷)$$

مثلاً وقتی که نور از آب وارد هوا می‌شود

۴ـ بازتابش کلی در منشورها ـ الف ـ در پریسکوپهای ویژهٔ زیردریاییها برای این که فقط یک تصویر روشن و بی‌عیب از اجسام روی‌آب به‌دست آید به جای آینهٔ تخت، ازدومنشور (ازجنس شیشهٔ کراون) که قاعدهٔ آنها به شکل مثلث قائم‌الزاویهٔ متساوی‌الساقین‌است استفاده می کنند(شکل۴ـ۱۰). در بخش۳ یاد آور شدیم که پریسکوپ زیردریایی عملاً ازترکیب یک دوربین(تلسکوپ)ویک‌پریسکوپ ساخته شده است ولی در شکل (۴ـ۱۰) فقط مسیر پرتوها به طور ساده در پریسکوپ نمایش داده شده است. در این شکل دو پرتوموازی نشان داده شده است که در راستای عمود برسطح AB منشوربالایی بدون شکست ازهوا وارد منشور می‌شوند وبازاویهٔ °۴۵ برسطح AC می‌تابند. چون زاویهٔ حد دراینجا °۴۲ است این پرتوها از روی سطح AC بازتابش کلی حاصل می‌کنند و در راستای قائم به‌طرف‌پایین گسیل‌می‌شوند وبه‌طورعمودی برسطح B′C′ منشور



شکل۴ـ۱۰ـ طرزاستفاده ازدومنشور براساس بازتابش کلی در پریسکوپ.



شکل۴ـ۹ـ گل نور

داریم:

$$\sin C = \frac{۱}{۱/۳۳} \approx ۰/۷۵$$

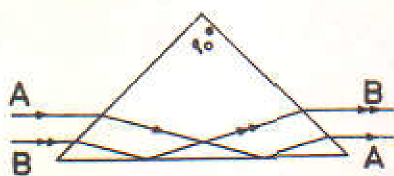
و با مراجعه به جدول سینوسها: $C \approx ۴۹°$ به دست می‌آید.

زاویهٔ حد وقتی نور ازشیشهٔ کراون به‌ضریب شکست۱/۵۲ وارد هوا بشود تقریباً °۴۲است. با توجه به‌محاسبهٔ زاویهٔ حد، می‌توان براساس‌بازتابش کلی، پرتوهای نور را در راستای جهش فواره‌ها یا درون میله‌های شیشه‌ای و پلی‌اتیلنی که به‌شکلهای مختلف‌ساخته می‌شوند گسیل داشت. فوارهٔ رنگی و گل نور براین خاصیت ساخته می‌شوند. شکل۴ـ۹ یک‌گل نور راکه به‌شکل یک دسته افشان ازمیله‌های خیلی باریک پلی‌اتیلنی (پلکسی گلاس) ساخته شده است نشان می‌دهد.

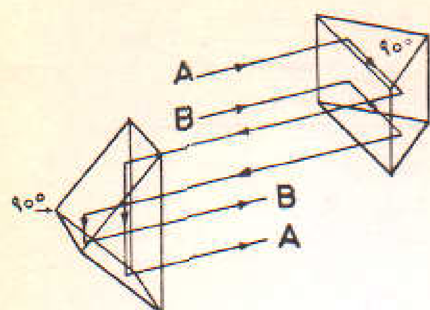
دوم تابیده بدون شکست واردآن می‌شوند وبه‌همین ترتیب از روی سطح $A'C'$ بازتابش‌کلی حاصل‌می‌کنند و از این منشور در راستای افقی وارد هوا می‌شوند.

ب- دربخش ۶ خواهیم دید برای این که به وسیلهٔ پروژکتور از یك شیء یا از یك فیلم تصویر مستقیمی روی یك پرده به دست آید باید شیء یا فیلم به طور واژگون در پشت عدسی پروژکتور قرارداده شود ولی در بعضی ازموارد این کار ممکن نیست. مثلاً گاهی‌لازم‌می‌شودکه‌درمرحلهٔ آموزش، تصویر یك باتری شیشه‌ای کوچك را که به شکل مکعب مستطیل باریك ساخته می‌شود برای نشان دادن طرز کارباتری روی پرده انداخت ولی به‌علت وجود مایع درباتری‌نمی‌توان‌آن راواژونه قرارداد. در این‌گونه موارد برای به دست آوردن تصویر مستقیم کافی است یك منشورمستقیم‌کننده جلوعدسی دستگاه پروژکتور قرارداده شود.

شکل ۴-۱۱ نشان می‌دهدکه چگونه از یك منشور که قاعدهٔ آن مثلث قائم‌الزاویه است برای این منظور استفاده می‌شود: پرتوها تقریباً به طور موازی با وجهی که رو به روی زاویهٔ °۹۰ است وارد منشور می‌شوند و پس ازبازتابش‌کلی از روی این وجه، به‌طورواژونه ولی موازی با امتدادتابش اولیه ازمنشور وارد هوا می‌گردند.



شکل۴-۱۱- بازتابش‌کلی درمنشور.



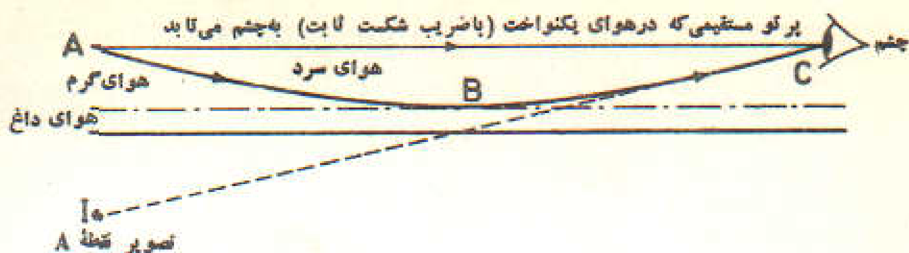
شکل ۴-۱۲- استفاده از دو منشور با بازتابش‌کلی در دوربینهای دوچشمی.

ج- درشکل ۴-۱۲ یك‌جفت‌منشور نشان‌داده‌شده است که قاعدهٔ آنها مثلث قائم‌الزاویه متساوی‌الساقین است. دوپرتو موازی‌درراستای‌عمودبروجه‌مقابل به‌زاویه قائمه وارد منشورها شده و پس ازدوباربازتابش‌کلی موازی با راستای تابش اولیه ازآنها خارج شده‌اند ولی امتداد این دوپرتو واژگون گردیده است. از این‌خاصیت‌برای مستقیم‌کردن تصویر دردوربینهای دوچشمی استفاده می‌شود.

۵- سراب- پدیدهٔ سراب معمولاً دربیابانها هنگامی‌که هوا خیلی گرم است اتفاق می‌افتد: در بیابانها مسافران در روزهای گرم تابستان در فاصلهٔ نسبتاً نزدیك به‌خود مناظری‌مانند دریاچه‌های‌کوچك آب می‌بینندکه واقعیت ندارد وناشی ازخطای دیدن است.

پدیدهٔ سراب نه تنها در بیابانهای داغ دیده می‌شود بلکه‌اغلب درجاده‌های آسفالته هم درروزهای‌گرم تابستان سطح جاده در فاصلهٔ نسبتاًنزدیك مانند منظرهٔ بعد ازباران، درخشنده وپوشیده ازآب به نظر می‌رسد. علت تشکیل‌سراب را می‌توان‌چنین توجیه‌کرد:

نور آسمان‌که، به‌طورخیلی مایل،ازلایه‌های



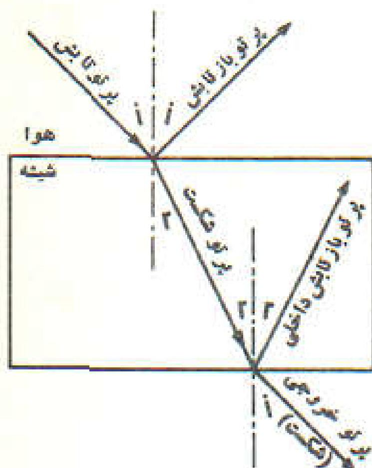
شکل ۴-۱۳- تشکیل سراب

سرد هوا وارد لایه‌هایی که به‌سبب نزدیکی با سطح داغ زمین به تدریج گرمتر ودرنتیجه رقیق‌تر شده‌اند می‌شود، مرتباً به طرف بالاشکست می‌یابد و زاویهٔ شکست به تدریج بزرگتر می‌شود تا این کـه روی یکی ازاین لایه‌های هوا زاویهٔ تابش به زاویـهٔ حد برسد یاازآن بزرگتر بشود وبازتابش کلی صورت گیرد (شکل ۴-۱۳). پرتوهایی که بدین‌سان بازتابش می‌یابند چون به چشم برسند تصویرآسمان در این لایه به صورت منظره‌ای ازآب‌درسطح زمین‌دیده‌می‌شود. زیرا چشم عادت دارد که تصویر آسمان را در آب ببیند.

۶- انحراف نور در تیغهٔ شیشه‌ای تخت - شکل ۴-۱۴مسیریك پرتورا که به‌طورمایل برسطح یك تیغهٔ شیشه‌ای تخت (که آن را تیغهٔ متوازی‌السطوح نیز می‌نامند) تـابیده است‌نشان می‌دهد. قسمتی از این پرتو ازروی سطح تیغه باز می‌تابدو قسمتی دیگر وارد تیغه می‌شود وشکست می‌یابد و همین عمل درسطح دیگر تیغه به‌هنگام خروج پرتو صورت می‌گیرد. درصورتی که هردوطرف تیغه هوا باشد زاویه‌ای که پرتو خروجی با خط عمود می‌سازد برابر زاویهٔ تابش است. بنابراین درتیغهٔ متوازی‌السطوح، زاویهٔ تابش‌هرچه‌باشد پرتوخروجی‌همواره موازی با پرتو تابش است.

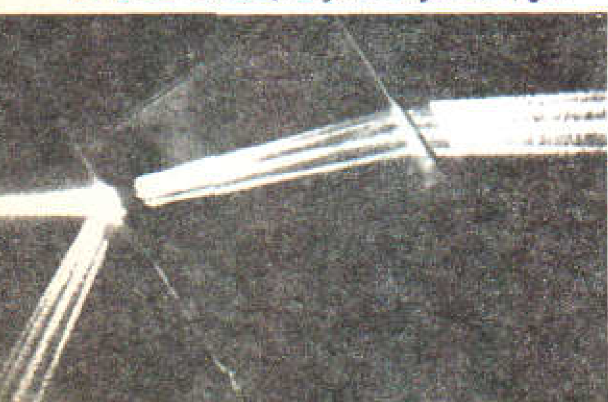
پرسش ۴-۱۰- اگرطرف دیگر تیغه به‌جای هوا، محیط شفاف دیگری مانند آب باشد آیا پرتو خروجی بازهم موازی پرتو تابش است؟

درشکل ۴-۱۵ یك منظرهٔ واقعی از انحراف نور درتیغهٔ شیشه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴- مسیر نور دریك تیغهٔ شیشه‌ای تخت.

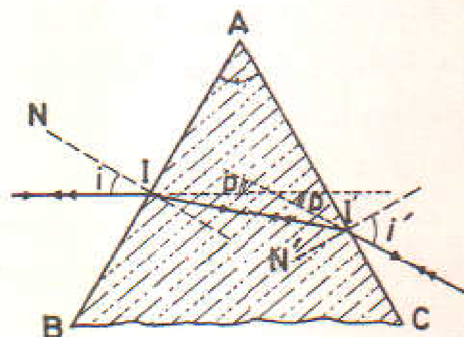
شکل ۴-۱۵- منظره‌ای ازانحراف نور در تیغهٔ شیشه‌ای تخت.



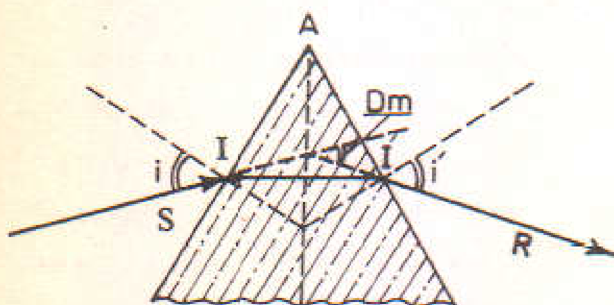
۷ـ انحراف نور درمنشور ـ اگر منشور شیشه‌ای یا پلی‌اتیلنی که قاعدهٔ آن به‌شکل مثلث است درمسیر یك دسته پرتو «تك رنگ» گذارده‌شود این دسته پرتو به‌طرف قسمت ضخیم منشورمنحرف می‌شود(برخلاف تیغهٔ متوازی‌السطوح که درآن‌پرتو خروجی موازی با راستای پرتو تابش قدری جابه‌جا می‌شود).

شکل ۴ـ۱۶ مسیریك پرتو تك رنگ راکه‌از یك بدنهٔ منشور وارد آن شده و از بدنهٔ دیگر آن خارج شده است نشان می‌دهد. دراینجا به‌این سبب از پرتو «تك رنگ» نام برده‌ایم‌که منشور نورسفید را علاوه برانحراف به هفت رنگ تجزیه می‌کند و شما تجزیهٔ نوردرمنشور را دربخش۷ خواهید دید.

زاویهٔ بین پرتو تابش وپرتو خروجی را زاویهٔ انحراف گویند. این زاویه، که درشکل به D نمایش داده‌شده است بستگی به‌زاویهٔ تابش وضریب‌شکست منشور و زاویهٔ بین دوبدنه‌ای‌که نورازآنها وارد و خارج می‌شود(یعنی زاویهٔ A) دارد. زاویهٔ انحراف در یك منشور درصورتی‌کمترین اندازهٔ خودرا دارد کـه زاویهٔ تابش (یعنی زاویهٔ بین پرتو تابش و خط عمود) برابر زاویهٔ خروجی (یعنی زاویهٔ بین شعاع خروجی وخط عمود) باشد (شکل ۴ـ۱۷).



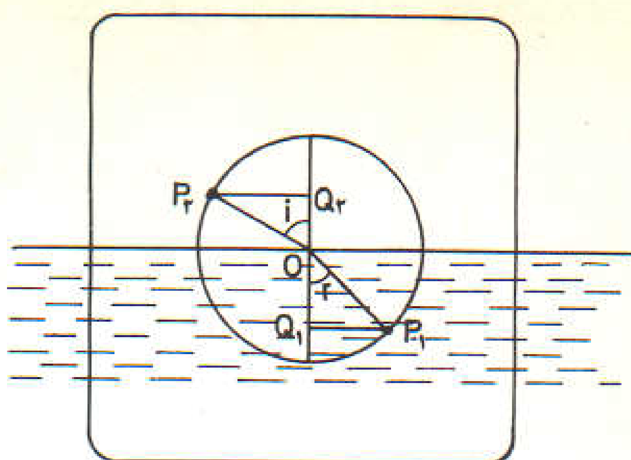
شکل ۴ـ۱۶ـ مسیر نور درمنشور



شکل ۴ـ۱۷ـ در صورتی‌که زاویه‌های i و i' با هم برابر باشند زاویهٔ انحراف مینیمم است.

خودتان آزمایش‌کنید

۱) قانون اسنل ـ دکارت را تحقیق کنید ـ روی یـك صفحهٔ تختـه‌با مداد پررنگ دایره‌ای به شعاع درحـدود ۱۰ سانتیمتر رسم‌کنید و دوقطر عمود برهم آن‌را بکشید. سپس دوسنجاق را یکی در نقطهٔ O، محل برخورد دوقطر، و دیگری‌درنقطهٔ P_1، واقع درقسمت پایینی محیط دایره روی‌تخته نصب‌کنید و آن را به‌طور قائم درآب فروبرید بدان‌سان که قطر افقی دایره وسوزنی‌کـه درنقطهٔ O نصب کرده‌اید درست مماس برسطح آب قرارگیرند و تخته را درهمین وضع نگه دارید. برای آسانی کار می‌توانید تخته را در



شکل ۴-۱۸- تحقیق تجربی قانون شکست نور

ظرف مناسبی به طور قائم قراردهید ودر ظرف آن قدرآب بریزید تا سطح‌آب مقابل قطرافقی دایره‌برسد. سپس از بالای تخته به درون آب نگاه کنید به طوری‌که دو سوزن O و P_1 را درست روی یک راستابر هم منطبق ببینید و دراین حال سوزن سوم P_2 را روی قسمت بالایی محیط دایره به تخته فرو برید تا سه سوزن P_1 و O وP_2 را روی یك راستا برهم منطبق ببینید. تخته را ازآب بیرون آورید وجای سوزنها را روی آن نشان‌کنید وآنها را ازروی تخته بردارید. اگرنقاط P_1 وP_2 را با دوخط به‌نقطهٔ O وصل‌کنید (شکل ۴-۱۸) P_2O و OP_1، بنا به اصل بازگشت نور در حکم پرتوهای تابش و شکست خواهند بود. زاویه‌های i و r را با نقاله اندازه بگیرید وسینوس آنها را ازروی جدول سینوسها به‌دست آورید وجدول ۴-۲ را تنظیم‌کنید وضریب شکست n را به‌دست‌آورید.

جدول ۴-۲

i	r	$\sin i$	$\sin r$	$n=\frac{\sin i}{\sin r}$

جای سوزن P_1 را تغییردهید و آزمایش‌را تکرارکنید ونتیجه بگیرید n مقدار ثابتی است‌که بستگی به اندازه‌های i و r ندارد.

یاد آوری - اگر از نقاط P_1 و P_2 دو عمود P_1Q_1 و P_2Q_2 را بر قطر دایره رسم کنید خواهید داشت:

$$\sin r = \frac{P_1Q_1}{OP_1} \quad و \quad \sin i = \frac{P_2Q_2}{OP_2}$$

یا:

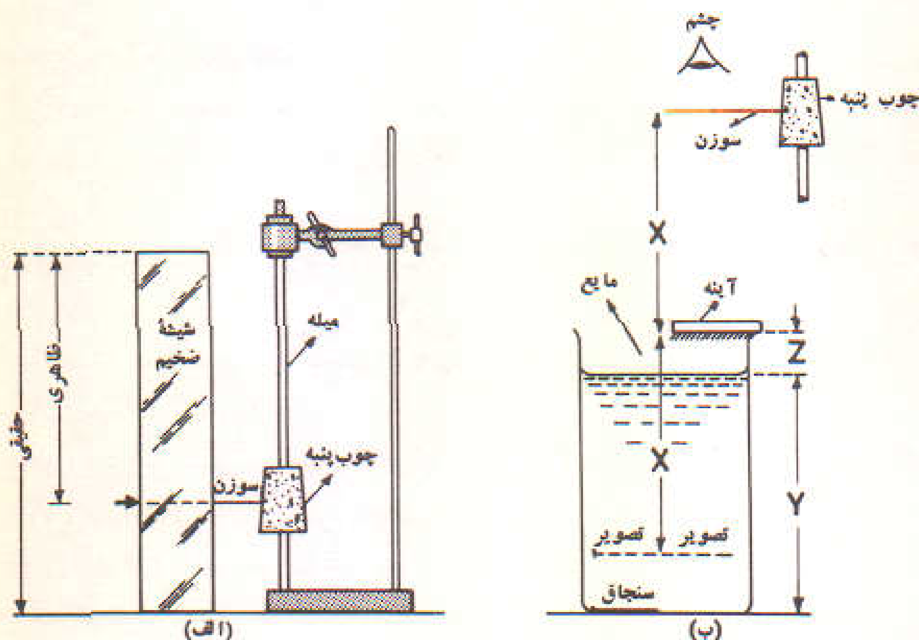
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{P_2Q_2}{OP_2} \Big/ \frac{P_1Q_1}{OP_1} = \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1} = n$$

زیرا OP_1 و OP_2 هردو شعاع دایره هستند.

بنابراین به جای آن‌که زاویه‌های i و r را اندازه بگیرید وسینوس آنها را از جدول سینوسها پیدا کنید می‌توانید P_1Q_1 و P_2Q_2 را به‌دقت اندازه بگیرید و نسبت $n = \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1}$ را حساب کنید.

آزمایش را برای مایعهای دیگری که دراختیاردارید تکرار کنید وضریب شکست آنها را تعیین نمایید.

۲) با اندازه‌گیری عمقهای ظاهری وحقیقی ضریب شکست را اندازه بگیرید - الف - درشیشه - تیغهٔ شیشه‌ای ضخیمی را به‌طور قائم روی خطی که برصفحهٔ کاغذی کشیده‌اید و آن را روی سطح افقی گسترده‌اید بگذارید. سنجاقی را روی چوب پنبه‌ای که می‌توانید آن را به‌راحتی روی میلهٔ قائمی بالا و پایین ببرید فرو کنید. میلهٔ چوب پنبه‌دار را کنار تیغهٔ شیشه‌ای به پایه‌ای نصب کنید وآن را طوری تنظیم کنید که انتهای سنجاق مماس برتیغه وراستای سنجاق موازی باخطی که روی کاغذ کشیده‌اید باشد (شکل ۴-۱۹-الف) وآن‌قدر چوب پنبه را روی میله پایین وبالا ببرید تا سنجاق را درست منطبق برتصویر خط



شکل ۴-۱۹- اندازه‌گیری ضریب شکست به روش تعیین عمق ظاهری.
الف) درشیشه ب) درمایع

درتیغه ببینید سپس عمقهای ظاهری وحقیقی را طبق آنچه درشکل نشان داده شده است اندازه بگیرید و از رابطهٔ $n=\frac{\text{عمق حقیقی}}{\text{عمق ظاهری}}$ ضریب شکست n راحساب کنید.

ب- در آب یا مایع دیگر- این آزمایش را نیزمانند آزمایش الف انجام دهید با این تفاوت که به‌جای تیغهٔ شیشه‌ای ظرف مناسبی (مانند یك بشر) راکه در آن آب یا مایع دیگرریخته‌اید بگذارید و به‌جای‌خط روی کاغذ هم سوزن سنجاقی را توی ظرف درته آن بگذارید وسنجاق روی چوب پنبه را طوری تنظیم کنیدکه موازی با سنجاق ته ظرف مایع باشد. برای این‌که آزمایش دقیق‌تر انجام شود بهتراین است که طبق شکل (۴-۱۹-ب) آینهٔ تخت‌کوچکی را روی لبهٔ ظرف مایع قراردهید و چوب پنبه سنجاق‌دار را بالای آینه ببرید وآن قدرآن را روی میله جا به‌جا کنید تا هنگامی‌که درراستای قائم به‌درون آب وآینه نگاه می‌کنید تصویرسنجاق بالایی‌را درآینه درست منطبق برتصویرسنجاقی‌که درته ظرف مایع است‌ببینید. با توجه به این‌که فاصلهٔ تصویر ازآینهٔ تخت برابر فاصلهٔ شیٔ از آینه است ضریب شکست مایع را طبق شکل ازرابطهٔ زیرحساب‌کنید:

$$n=\frac{\text{عمق حقیقی}}{\text{عمق ظاهری}}=\frac{y}{x-z}$$

ارتفاع مایع را درظرف تغییردهید وآزمایش را چند بارتکرارکنید وهربار n را حساب‌کنید ومیانگین آنها را به دست آورید. بدین ترتیب برای n مقدار دقیق‌تری به‌دست خواهیدآورد.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) شکست نور چیست؟ هرگاه نور به طور مایل از هوا یا خلأ وارد مادهٔ شفاف دیگری بشود چگونه شکست می‌یابد؟ اگردراین حالت زاویهٔ تابش‌ازصفر تا نزدیك °۹۰ تغییرکند زاویهٔ شکست‌چگونه تغییرخواهدکرد؟

۲) قانونهای شکست نور را بیان‌کنید. چگونه می‌توان‌ازرابطهٔ اسنل - دکارت ضریب شکست یك مادهٔ شفاف را تعیین‌کرد؟

۳) منظورازجملهٔ «ضریب شکست‌شیشه ۱/۵ است» چیست؟ آزمایشی راشرح دهیدکه باآن بتوان ضریب شکست شیشه را تعیین‌کرد.

۴) چرا وقتی‌که قسمتی ازیك چوب رادرآب‌به‌طورمایل فرو می‌برید شکسته به نظرمی‌رسد؟ دربارهٔ جواب خود با رسم شکلی دقیق توضیح دهید.

۵) بازتابش‌کلی وزاویهٔ حد چیست؟ چه رابطه‌ای بین زاویهٔ حد و ضریب شکست نسبی دو محیط برقرار است؟ توضیح دهید.

۶) با رسم شکل نشان دهیدکه چگونه می‌توان به‌وسیلهٔ منشور شیشه‌ای که قاعدهٔ آن مثلث قائم‌الزاویهٔ متساوی‌الساقین است مسیر یك دسته پرتو نورموازی را ۹۰ درجه یا ۱۸۰ درجه تغییرداد.

۷) یك لامپ روشن کوچك درته مخزن نگهداری ماهی (آکواریوم) پرازآب قراردارد. شکلی رسم کنید که:

الف- مسیر یك پرتو نوررا که ازلامپ عمود برسطح آب می‌تابد نشان دهد.

ب- مسیر پرتوی راکه با زاویهٔ کوچکتر اززاویهٔ حد به‌سطح آب می‌تابد نشان دهد.

ج- مسیر پرتوی را که با زاویهٔ بزرگتر اززاویهٔ حد به‌سطح آب می‌تابد نشان دهد.

۸) درنظر بگیرید که یك پرتو نور ازهوا با زاویهٔ °۴۵ به‌سطح آب داخل ظرفی می‌تابد و واردآب می‌شود. اگردرکف ظرف که افقی است یك آینه تخت باشد پرتو نور پس از برخورد به‌آینه چه‌می‌شود؟ اگر آینه عمود برمسیر پرتو شکست درآب قرارداده شود مسیر پرتوچه خواهد شد؟ درهر دوحال بارسم شکل، مسیر پرتوها را نشان دهید.

۹) با دردست داشتن ضریب شکست یك مادهٔ شفاف نسبت به هوا چگونه می‌توان سرعت نوررا در این ماده حساب‌کرد؟

۱۰) با رسم شکل نشان دهیدکه اگر به شیئی از پشت یك شیشهٔ تخت نگاه‌کنید درجای اصلی‌خود دیده نمی‌شود.

۱۱) با رسم شکل‌توضیح دهیدکه چرا نور فقط وقتی‌که از یك مادهٔ شفاف باضریب شکست‌بزرگتر وارد محیط شفاف با ضریب شکست‌کوچکتری می‌شود می‌تواند بازتابش‌کلی حاصل‌کند.

۱۲) زاویهٔ حد برای شیشهٔ‌کراون °۴۲ وبرای الماس °۲۴ است. توضیح دهید چرا یك قطعه‌الماس از یك قطعه شیشهٔ کراون (که هردو به یك شکل ساخته شده باشند) درخشنده‌تر است.

۱۳) دوظرف یکی ازآب ($n=۱/۳۳$) و دیگری ازسولفیدکربن ($n=۱/۶۳$) تا ارتفاع مساوی پرشده‌اند. سکه‌ای را درته هریك از دوظرف می‌گذاریم اگر از بالای هر یك از این دو ظرف درراستای عمودی به سکه نگاه کنیم درکدام ظرف سکه را به چشم خود نزدیکتر می‌بینیم. دربارهٔ جواب خود با رسم شکل توضیح دهید.

۱۴) با توجه به‌این‌که نور ستارگان ازخلأ وارد جو زمین می‌شوند آیا ستارگان به ویژه آنهاکه به سطح افق نزدیکترند در جای حقیقی خود دیده می‌شوند؟ دربارهٔ جواب خود با رسم یك شکل تقریبی توضیح دهید.

۱۵) شخصی‌که در ته‌آب استخری شنا می‌کند چراغی راکه‌کنار لبهٔ استخر به‌پایه‌ای آویزان است بالاتر ازجای واقعی آن می‌بیند. علت را با رسم شکل توضیح دهید.

۱۶) درفصل تابستان وقتی‌که مسافرت می‌کنیم اغلب در جاده‌های آسفالته به نظرمان می‌رسد که قسمتهایی ازجاده را آب پوشانیده است. علت چیست؟ چگونه می‌توان این پدیده را توجیه‌کرد؟

۱۷) میله‌ای درلبهٔ یك استخر نصب شده است و آب استخر صاف و آرام است. اگر درلبهٔ دیگر استخر بایستیم ودرآب نگاه‌کنیم تصویر میله را درآب:

الف- برابر طول میله خواهیم دید.

ب- بزرگتر ازطول میله خواهیم دید.

ج- کوچکتر ازطول میله خواهیم دید.

د- بسته به وضع چشم بزرگتر یا کوچکتر ازطول میله خواهیم دید.

دربارهٔ جواب درست توضیح دهید.

۱۸) دوتیغهٔ شیشه‌ای تخت به‌ضریب شکستهای $n_1 = ۱/۵$ و $n_2 = ۲$ روی هم‌قراردارند. پرتوی نورانی با زاویهٔ °۴۵ به تیغهٔ اولی (n_1) می‌تابد. این پرتو:

الف- ازتیغهٔ دوم با زاویهٔ خروجی °۴۵ وارد هوا می‌شود.

ب- با زاویهٔ خروجی کوچکتر از °۴۵ وارد هوا می‌شود.

ج- با زاویهٔ خروجی بزرگتر از °۴۵ وارد هوا می‌شود.

د- روی سطح مشترك دوتیغه بازتابش‌کلی حاصل می کند.

دربارهٔ جواب درست توضیح دهید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) یك دسته پرتو نور موازی با زاویهٔ تابش °۵۰ ازهوا وارد آب ($n = ۱/۳۳$) می‌شود. زاویهٔ شکست این پرتو را درآب با ۲ رقم معنی‌دار حساب‌کنید.

۲) یك پرتو نور به ترتیب با زاویه‌های °۰، °۳۰، °۴۵، °۶۰ و °۸۰ روی سطح تیغه‌ای از جنس پلی‌اتیلن به ضریب شکست $n = ۱/۵۰$ می‌تابانیم. درهریك از این حالتها زاویهٔ شکست وسینوس‌زاویه‌های تابش وشکست را حساب و درجدولی مانند جدول زیرتنظیم‌کنید.

i	r	sin i	sin r	

سپس نموداری رسم‌کنیدکه محور افقی آن نمایش زاویه‌های تابش ومحورعمود برآن نمایش‌زاویه‌های شکست باشد. آیا زاویه‌های شکست مستقیماً متناسب بازاویه‌های تابش هستند؟ نمودارديگری رسم کنیدکه روی محور افقی‌آن اندازه‌های سینوس زاویه‌های تابش وروی محورعمود برآن اندازه‌های‌سینوس زاویهٔ شکست برده شوند. این نمودار را با نمودار اول مقایسه‌کنید ونظرخود را بنویسید.

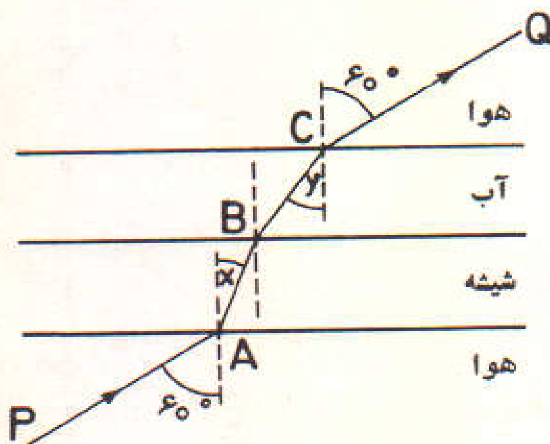
۳) یك پرتونورتك رنگ با زاویهٔ °۳۰ روی سطح تیغه‌ای ازجنس‌کوارتز تابیده وبا زاویهٔ‌شکست °۲۰ وارد این تیغه شده است. ضریب شکست‌کوارتز برای این پرتو چه‌اندازه بوده است؟

۴) یك دسته پرتو نور موازی از درون آب ($n=۱/۳۳$) با زاویهٔ تابش °۳۰ به سطح آب تابیده وارد هوا می‌شود. زاویهٔ شکست آن درهوا تا دورقم معنی‌دارچند درجه است؟ حساب کنیدکه زاویهٔ‌تابش به چند درجه باید برسد تا بازتابش کلی شروع شود؟

۵) درشکل ۴-۲۰ پرتو PQ به ترتیب از هوا وارد شیشه و آب شده دوباره وارد هوا می‌شود. زاویـه‌های تابش وخروجـی هردو °۶۰ وضریب شکستهای شیشه وآب به‌ترتیب $\frac{۳}{۲}$ و $\frac{۴}{۳}$ است.

الف- اندازهٔ زاویه‌های x و y را تا دورقم معنی‌دار حساب کنید.

ب- ضریب شکست نسبی برای وقتی که نور ازشیشه وارد آب می‌شود چه اندازه است؟



شکل ۴-۲۰

۶) اگرسرعت نوردرهوا $۳/۰ \times ۱۰^۸$ متربرثانیه‌فرض شودسرعت‌آن‌درشیشهٔ فلینت ($n=۱/۶۶$) و در سولفیدکربن ($n=۱/۶۳$) چیست ؟ چنانچه سرعت نور دریك مادهٔ پلاستیکی $۲/۰ \times ۱۰^۸$ متربر ثانیه باشدضریب شکست این‌ماده تا سه رقم معنی‌دار چه اندازه است؟

۷) سکه‌ای‌درته‌ظرف مایعی‌که ضریب‌شکست آن $\frac{۴}{۳}$ است قرار دارد وعمق‌حقیقی مایع در ظرف ۲۰ سانتیمتر است. سنجاقی را بالای ظرف به‌طور افقی نگه می‌داریم و در راستای قائم از بالای سنجاق درمایع نگاه می‌کنیم وآن قدرسنجاق را موازی با امتداد خود جا به‌جا می‌کنیم تا تصویری کـه از این سنجاق دراثر بازتابش نور ازسطح مایع حاصل می‌شود درست منطبق برتصویرسکه درمایع شود. در این حالت فاصلهٔ سنجاق ازسطح مایع چه اندازه است؟

۸) سطح قاعدهٔ یك منشور شیشه‌ای به شکل مثلث قائم‌الزاویهٔ ABC است که درآن زاویهٔ A برابر °۳۰ وزاویهٔ C برابر ۶۰ درجه است. یك پرتو نورانی عمود بروجـه AB به این منشور می‌تـابد و از وجه AC خارج می‌شود. اگرضریب‌شکست‌آن $n=۱/۵$ باشد مسیر پرتو رادر این منشور به دقت رسم کنید.

۹) اگر زاویه‌های شکست داخلی را در منشور به r و r' نمایش دهیم با توجه به شکل (۴-۱۶) ثابت کنید.

الف ـ بین زاویهٔ رأس منشور (A) و زاویه‌های r و r' رابطهٔ زیر برقرار است :

$$A = r + r'$$

ب ـ بین زاویهٔ انحراف D و زاویه‌های تابش و خروجی i و i' و زاویه‌های r و r' رابطه زیر برقرار است:

$$D = (i + i') - (r + r') = (i + i') - A$$

۱۰) اگر منشور در وضعی قرار داده شود که زاویه انحراف، یعنی زاویه بین پرتو تابش و پرتو خروجی مینیمم باشد. با استفاده از روابط $D = i + i' - A$ و $A = r + r'$ و $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ و بکار گرفتن شرایط مینیمم انحراف ثابت کنید ضریب شکست منشور برابر است با :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{۲}\right)}{\sin\left(\frac{A}{۲}\right)}$$

D_m زاویه مینیمم انحراف است .

پاسخ به پرسشهای متن

۴-۱) بدون آن‌که شکسته به‌نظر برسد کوتاهتر از آنچه هست به نظر می‌رسد (مسیر پرتوها را مانند شکل ۴-۴ رسم کنید)

۴-۲) بدون شکست درهمان راستایی که تابیده است وارد محیط شفاف می‌شود.

از رابطهٔ $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ یا $\sin i = n \sin r$ نیز همین نتیجه گرفته می‌شود. زیرا وقتی که $i = ۰$ باشد چون $n \neq ۰$ است بنابراین $r = ۰$ خواهد بود.

۴-۳) تغییر سرعت نور وقتی که از یك مادهٔ شفاف وارد مادهٔ شفاف دیگر می‌شود.

۴-۴) داریم $\frac{\sin ۴۵^\circ}{\sin r} = ۱/۵۲$ یا $\sin r = \frac{\sin ۴۵^\circ}{۱/۵۲} = \frac{۰/۷۰۷}{۱/۵۲} \simeq ۰/۴۶۵$

و با مراجعه به‌جدول سینوسها : $r \approx ۲۸^\circ$

۴-۵) بنا به‌اصل بازگشت نور ضریب شکست هوا نسبت به شیشه $\frac{۱}{n}$ است.

۴-۶) اگر نور از محیط ۱ به ضریب شکست $n_۱$ وارد محیط ۲ به ضریب شکست $n_۲$ بشود ضریب شکست محیط دوم نسبت به محیط اول برابر است با $\frac{n_۲}{n_۱}$. بنابراین: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_۲}{n_۱}$

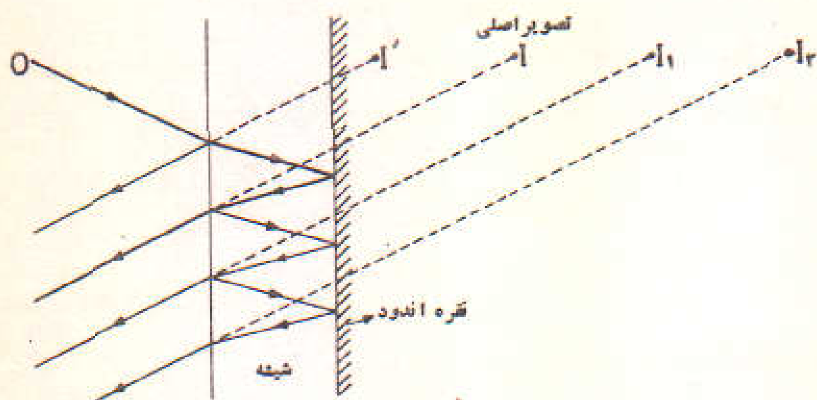
یا

$$\boxed{n_۱ \sin i = n_۲ \sin r}$$

۴-۷) علت، دورشدن نور ازخط عمود به‌هنگام خروج ازتیغه‌است که‌در شکلهای ۴-۵ و ۴-۶ نمایش داده شده است.

۴-۸) به ضریب شکستهای دومحیطی که مجاور یکدیگر قراردارند.

۴-۹) علت،بازتابشهای متوالی است که طبق شکل ۴-۲۱ به ترتیب روی سطح نقره اندود وسطح شیشه صورت می گیرد.



شکل ۴-۲۱

۴-۱۰) نه! زیرا وقتی که نورازهوا وارد تیغه به ضریب شکست n می‌شود داریم $\sin i = n \sin r$ و هنگامی که ازتیغه وارد محیط شفاف دیگری به‌ضریب شکست n' می‌شود داریم $n \sin r = n' \sin r'$. از مقایسهٔ این دورابطه نتیجه می‌شود: $\sin i = n' \sin r'$ وچون $n' > 1$ است پس $r' < i$ است. درنتیجه پرتوی که ازتیغه خارج می‌شود نمی‌تواند موازی با پرتو تابش باشد.

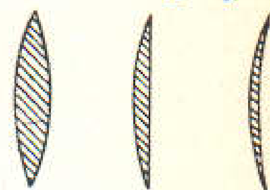
۵

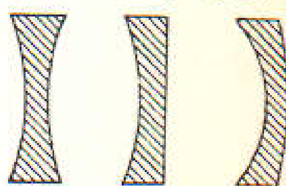
عدسیها

ذره‌بین یا عدسی از قرنها پیش توسط یونانیها و مسلمانان شناخته شده و به کار رفته است.

امروزه هم انواع مختلف عدسیها در زندگی ما نقش مؤثر و مهمی دارند. میلیونها انسان برای این که راحت‌تر بخوانند یا راحت‌تر اشیا را ببینند از عینک استفاده می‌کنند. اگر دستگاههای عکاسی، فیلمبرداری، پروژکتور، میکروسکوپ، دوربین و ..... که درهمهٔ آنها عدسی به کار می‌رود وجود نداشتند زندگی کنونی ما شکل دیگری داشت.

همهٔ عدسیها را نمی‌توان به عنوان ذره‌بین به کاربرد. زیرا بعضی از آنها که مثلاً مورد استفادهٔ اشخاص نزدیک‌بین قرارمی گیرند، همواره از اجسام تصویرهای مجازی ومستقیمی می‌دهند که کوچکترند. این گونه عدسیها را مقعر یا واگرا نامیده‌اند، درصورتی که، ذره‌بینها را عدسی محدب یا همگرا می‌نامند. تشخیص عدسیهای واگرا از همگرا آسان است: عدسیهای واگرا لبهٔ کلفت ومیان نازکی دارند درصورتی که لبهٔ عدسیهای همگرا نازکتر از میان آنهاست. درشکل ۵-۱ بعضی از انواع عدسیها که کاربرد بیشتر دارند نمایش داده شده است.





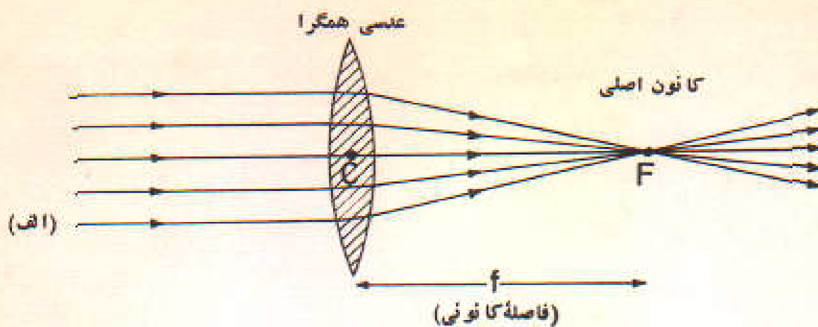
شکل ۵-۱- انواع متداول عدسیها.

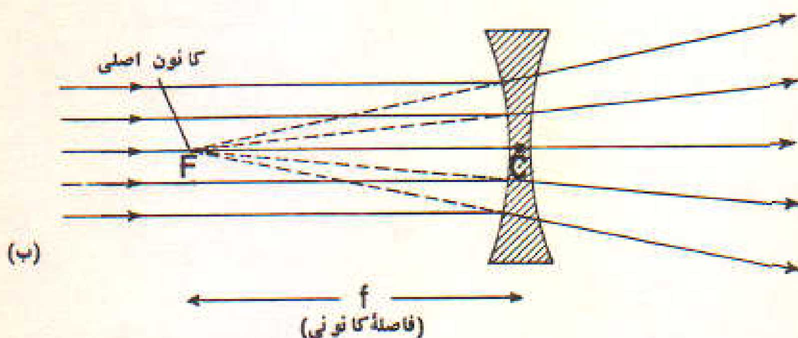
اصطلاحات

عدسی ساده: معمولاً یک قطعه شیشه یا مادهٔ شفاف دیگری است که به دوسطح کروی محدود شده باشد.

محور اصلی عدسی: خطی است که مرکزهای انحنای دوسطح کروی دو طرف عدسی را به هم وصل می‌کند.

کانون اصلی عدسی: اگر یک دسته پرتو نور موازی با محور اصلی به یک عدسی همگرا بتابد همهٔ این پرتوها پس از گذشتن ازعدسی دریک نقطه واقع برمحور اصلی عدسی به هم می‌رسند. این نقطه را کانون اصلی عدسی می‌نامند وآن را به «F» نمایش می‌دهند (شکل ۵-۲- الف). در عدسیهای واگرا پرتوهای موازی با محور اصلی پس از گذشتن از عدسی ازهم دور می‌شوند ولی امتداد آنها درطرف دیگر عدسی دریک نقطه به هم می‌رسند. این نقطه بازهم روی محوراصلی قراردارد و کانون اصلی عدسی واگراست (شکل ۵-۲-ب).





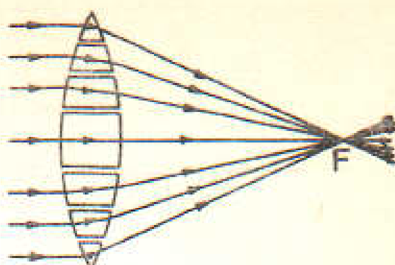
شکل ۵-۲- کانون اصلی
الف- درعدسی‌همگرا ب- درعدسی واگرا

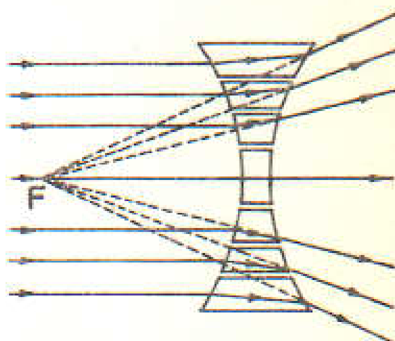
بنابراین: کانون عدسیهای همگرا حقیقی و کانون عدسیهای واگرا مجازی است.

ضمن بحث دربارهٔ آینهٔ کروی (بخش۳) گفتیم فقط پرتوهایی‌که موازی با محور اصلی آینه وخیلی نزدیک به آن برسطح آینه می‌تابند پس از بازتاب، نقطهٔ واقعی کانون اصلی را تشکیل‌می‌دهند. این واقعیت دربارهٔ عدسیها نیز صدق می‌کند. بنابراین: کانون اصلی در عدسی نقطه‌ای است واقع برمحور اصلی عدسی به طوری‌که پرتوهای موازی‌با محور اصلی ونزدیك به‌آن، پس ازگذشتن ازعدسی، درآن‌نقطه به‌هم می‌رسند، یا این‌که، به‌نظر می‌رسد ازآن نقطه‌گسیل می‌شوند و پس ازگذشتن ازعدسی از هم دور می‌گردند.

مقایسهٔ عدسی با منشور

در بخش ۲ گفتیم که یك پرتو نور وقتی از یك منشورشیشه‌ای می گذرد ازراستای خودمنحرف وبه قسمت ضخیم منشور نزدیك می‌شود. در اینجا نیزمی‌توانیم هرعدسی همگرا یا واگرا را مرکب‌از تعداد زیادی منشور بدانیم که زاویه‌های آنها وقتی که ازمیان عدسی به سوی لبهٔ آن می‌رویم‌به‌تدریج افزایش‌می‌یابند. بنابراین‌هرچه به‌لبهٔ عدسی‌نزدیکتر می‌شویم انحراف پرتوهای نور بیشتر می‌شود. این مطلب روشن می‌سازد که چگونه پرتوهای موازی با محور اصلی پس ازگذشتن ازیك عدسی همگرا در کانون آن که حقیقی است به هم می‌رسند یا پس از عبور ازیك عدسی واگرا ازهم دور می‌شوند و به





شکل ۵-۲- مقایسهٔ عدسی با منشور

نظر می‌رسد از کانون این عدسی که مجازی است گسیل می‌شوند (شکل ۵-۳).

مرکز اُپتیکی[1] عدسی- فاصلهٔ کانونی

قسمت میانی هرعدسی را می‌توان درحکم‌یك تیغهٔ متوازی‌السطوح کوچك دانست. زیراپرتوهایی که به این قسمت از عدسی می‌تابند به‌جای این که منحرف شوند، اندکی‌جابه‌جا شده به‌موازات‌راستای اولیهٔ خود ازعدسی خارج می‌شوند. اگرعدسی‌نازك باشد اندازهٔ این جابه‌جایی ناچیز است. بنابراین در شکلهایی‌که ازاین پس برای نشان دادن جای‌تصویر درعدسیهای ساده رسم می‌شوند، پرتوهایی که از نقطهٔ میانی‌عدسی‌می‌گذرند بدون شکست نشان‌داده خواهند شد.

نقطهٔ میانی عدسی را که در واقع محل‌گذر محور اصلی عدسی است مرکز اپتیکی عدسی‌گویند. فاصلهٔ بین مرکزاپتیکی و کانون اصلی عدسی فاصلهٔ کانونی نام دارد و به حرف f نمایش داده می‌شود (به شکل ۵-۲ مراجعه شود).

هرعدسی دارای دوکانون اصلی است.

چون برخلاف آینه‌ها می‌توان نور را از دو طرف به عدسی تاباند، بنابراین، هر عدسی دارای دو کانون‌اصلی‌است‌که ازمرکز اپتیکی‌به‌یك‌فاصله‌اند. این کانونها را چنان‌که متداول‌است به F و F′نمایش می‌دهیم.

پرسش ۵-۱- اگر شعاعهای انحنای دو وجه عدسی برابرنباشند، مثلا اگریك طرف عدسی تخت باشد آیا باز هم دوکانون از مرکز اپتیکی به یك فاصله‌اند؟

در عدسیهای ساده مرکزهای انحنای دو وجه عدسی نقش مهمی ندارند و به‌جای آنها نقاط ۲F و ۲F′ درنظرگرفته‌می‌شوندوبه‌طوری‌که ازعلامتهای اختصاری آنها پیداست، ۲F و ۲F′ نقاطی‌هستندکه فاصلهٔ آنها ازمرکز اپتیکی عدسی دو برابر فاصلهٔ کانونی است.

تعیین‌جای تصویربه‌کمك‌رسم‌پرتوها

الف-درعدسیهای‌همگرا- دراین‌عدسیها برای تعیین جای تصویر به‌وسیلهٔ رسم هندسی، سه دسته پرتو را که مسیرآنها درعدسی کاملاً مشخص است به‌کار می‌بریم:

۱- Optical Centre

۱- پرتوهای موازی با محور اصلی که پس از عبور از عدسی وشکست درآن از کانون اصلی می-گذرند؛

۲- پرتوهایی که ازکانون اصلی می گذرندو پس ازعبورازعدسی وشکست درآن موازی بامحور اصلی ازعدسی خارج می‌شوند (بنا به اصل بازگشت نور)؛

۳- پرتوهایی که ازمرکز اپتیکی عدسی می-گذرندو بدون شکست محسوس از آن خارج می‌شوند. از این سه دسته پرتو، فقط دوتای آنها برای تعیین جای تصویر کافی است.

در شکلهای ۵-۴ تا ۵-۹ تصویر یك شیٔ که در جاهای مختلف روی محور اصلی عدسی همگرا قرارگرفته نمایش داده شده است. در این شکلها، شیٔ با پیکان OA وتصویر آن با پیکان IB هر دو عمود برمحور اصلی مشخص گردیده است.

درشکل ۵-۴، عدسی مانند ذره‌بین به کاررفته است. دراین حالت شیٔ درفاصلهٔ کانونی عدسی است و تصویرآن مستقیم، مجازی و بزرگتر و درهمان طرفی که شیٔ قراردارد دیده می‌شود.

شکل ۵-۶ حالتی‌را نشان می‌دهد که می‌توان از یك عدسی همگرا در دستگاه پروژکتور برای انداختن تصویر حقیقی از یك فیلم بر روی پرده استفاده کرد. در این حالت تصویر معکوس است و برای این که برروی پردهمستقیم دیده شود بایدخود فیلم وارونه در پروژکتور قرارداده شود.

پرسش ۵-۲- شکل۵-۸ حالتی‌را نشان می-دهدکه تصویر حاصل ازشیٔ به‌وسیلهٔ عدسی، حقیقی و وارونه و کوچکتر ازآن است. در چه اسبابی از عدسی دراین حالت استفاده می‌شود؟

پرسش ۵-۳- عدسیهای همگرا به ویژه آنها که سطح بزرگتر ومیان ضخیم‌تری دارند نمی‌توانند به تنهایی ازاجسام تصویرهای کاملاً واضحی بدهند بلکه اطراف تصویرهای‌حاصل‌ازآنهاکج وتارورنگی به نظرمی‌رسد. آیا می‌توانید علت را بیان‌کنید؟ به نظرشما چگونه می‌توان این عیب را برطرف‌کرد؟

ب- درعدسیهای واگرا- عدسیهای واگرا، برخلاف عدسیهای همگرا (که می‌توانند هم تصویر حقیقی وهم تصویر مجازی بدهند) ازیك شیٔ واقعی هر جا که باشد همواره تصویر مجازی می‌دهند که نسبت به‌آن مستقیم، کوچکتر وبین عدسی و کانون F واقع است (شکل ۵-۱۰).

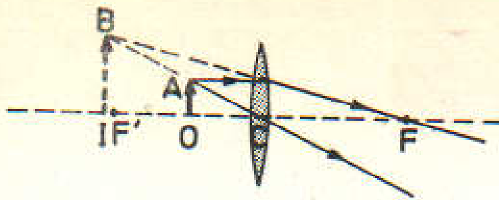
پرسش ۵-۴- اگرشیٔ را به موازات امتداد خود ازفاصلهٔ خیلی دور تا کانون یك عدسی‌واگرا جا به‌جا کنیم تصویر آن در عدسی در چه فاصله‌ای جا به جا می‌شود؟

حل مسائل مربوط به‌عدسیها به‌روش ترسیم

در این روش قسمتی ازمسیر پرتوها راکه در خود عدسی است نادیده می گیریم وعدسی رابه یك خط راست عمود بر محور اصلی نمایش می‌دهیم. بدیهی‌است درصورتی که عدسی‌نازك باشد می‌توانیم این کاررا بکنیم.

مثال - شیئی به‌طول ۱۰ میلیمتر عمود برمحور اصلی‌عدسی همگرایی که فاصلهٔ کانونی‌آن ۱۰ میلیمتر است قرارگرفته وفاصلهٔ آن از عدسی ۱۷ میلیمتر است. می‌خواهیم جای، بزرگی ونوع تصویر رابه روش ترسیم تعیین کنیم.

برای این‌منظور ازکاغذ میلیمتری یاشطرنجی

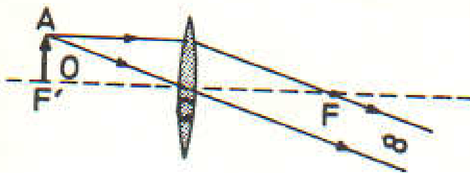


شکل ۵-۴- جسم بین کانون F′ و عدسی

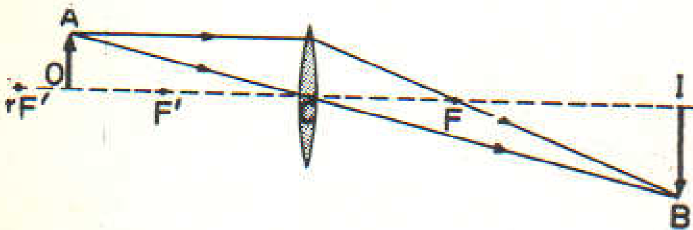
تصویر:

۱- درهمان طرف شیٔ　　۲- مجازی

۳- مستقیم　　۴- بزرگتر از شیٔ



شکل ۵-۵- جسم روی کانون F′ تصویر واضحی به دست نمی‌آید ولی چون پرتوهای خروجی موازی‌هستند می‌گوییم تصویر در بی‌نهایت تشکیل می‌شود.

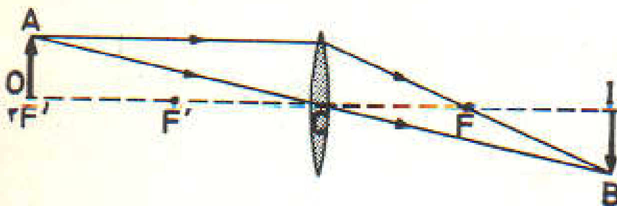


شکل ۵-۶- جسم بین F′ و ۲F′

تصویر:

۱- دورتر از ۲F　　۲- حقیقی

۳- وارونه　　۴- بزرگتر از شیٔ

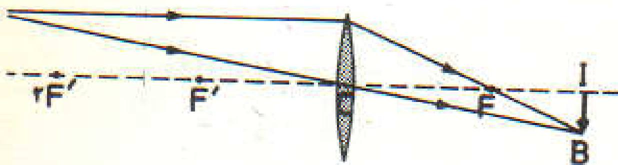


شکل ۵-۷- جسم در ۲F′

تصویر:

۱- در ۲F　　۲- حقیقی

۳- وارونه　　۴- به‌اندازهٔ خود شیٔ



شکل ۵-۸- جسم دورتر از ۲F′

تصویر:

۱- بین F و ۲F　　۲- حقیقی

۳- وارونه　　۴- کوچکتر از شیٔ

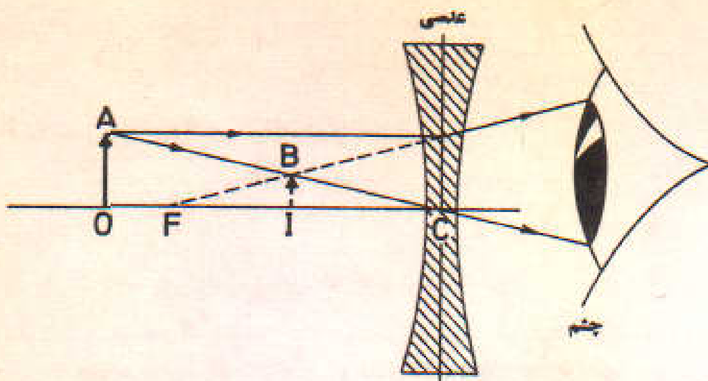


شکل ۵-۹- شیٔ در بی‌نهایت

تصویر:

۱- در F　　۲- حقیقی

۳- وارونه　　۴- کوچکتر از شیٔ



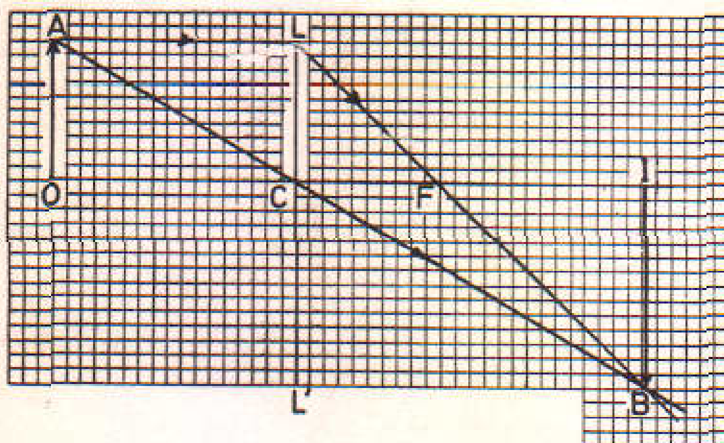
شکل ۵-۱۰- طرز تشکیل در عدسی واگرا

استفاده می‌کنیم وطول هرضلع مربع روی کاغذ را به عنوان واحد طول (در اینجا یك میلیمتر) به‌کار می‌بریم.

خط افقیOCI نمایش محوراصلی وخطLCL´ که عمود بر آن‌است‌نمایش‌عدسی‌است (شکل۵-۱۱). شیٔ با خط OA به طول ۱۰ برابر واحد انتخابی‌و به فاصلهٔ ۱۷ برابرواحد عمود برمحور اصلی‌عدسی نمایش داده شده است. دو پرتو برای تعیین جای تصویر به‌کار رفته است:

۱- پرتو ACB که از مرکز اپتیکی عدسی بدون شکست‌گذشته است؛

۲- پرتو AL که موازی محور اصلی عدسی



شکل ۵-۱۱

داده‌ها

عدسی محدب LCL´

فاصلهٔ کانونی 10 mm

شیٔ OA به طول 10 mm

و به فاصلهٔ 17 mm از عدسی

نتیجه‌ها

تصویر IB

۱- درفاصلهٔ ۲۴ میلیمتری عدسی است

۲- به طول 14 mm است

۳- معکوس‌است

۴- حقیقی‌است

رسم شده وپس ازخروج ازعدسی ازکانون F گذشته است.

نقطهٔ B محل برخورد این دو پرتو، تصویر نقطهٔ A وخط IB که عمود برمحوراصلی است تصویر شیٔ OA خواهد بود.

به طوری که درشکل دیده می‌شود این تصویر حقیقی و وارونه و در فاصلهٔ تقریبی ۲۴ میلیمتری (۲۴ برابر واحد) عدسی واقع است وطول آن تقریباً ۱۴ میلیمتر (۱۴ برابرواحد) است. دراینجا نیزمانند آینهٔ کروی می‌توانیم بی‌آن که مسیر پرتوها را رسم کنیم جای و بزرگی تصویر را با محاسبه به دست آوریم. اگر فاصلهٔ شیٔ راازعدسی به p ($OC=p$)، فاصلهٔ تصویر را ازعدسی به q ($CI=q$) وفاصلهٔ کانونی عدسی را به f ($CF'=CF=f$) نمایش دهیم بااستفاده‌ازتشابه مثلثها (مثلاً درشکل ۵-۱۱) ثابت‌می‌شودکه‌بین p و q و f این‌رابطه برقرار است:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad (5\text{-}1)$$

در صورتی که فاصلهٔ شیٔ از عدسی (p) و فاصلهٔ کانونی عدسی (f) مشخص باشند فاصلهٔ تصویرازعدسی ازاین‌رابطه به‌آسانی حساب‌می‌شود.

پرسش ۵-۵- چگونه‌می‌توانیدازتشابه مثلثها درشکل ۵-۱۱ این رابطه را بدست آورید؟

بزرگنمایی

بزرگنمایی خطی در عدسی، مانند آینه‌های کروی، عبارت است ازنسبت بلندی تصویربه‌بلندی شیٔ یعنی:

$$\text{بزرگنمایی خطی در عدسی}=\frac{\text{بلندی تصویر}}{\text{بلندی شیٔ}}=\frac{IB}{OA}$$

درآینه‌های کروی دیدیم که بزرگنمایی‌بستگی به فاصله‌های شیٔ وتصویر ازآینه دارد. درعدسیها هم بهتر این است که بستگی بزرگنمایی را با فاصلهٔ شیٔ وتصویر ازعدسی پیدا کنیم:

مثلا از تشابه دومثلث COA و CIB در دو شکل ۵-۶ و ۵-۱۰ نتیجه می‌شود:

$$\frac{IB}{OA}=\frac{IC}{OC}=\frac{q}{p}$$

بنابراین:

$$\text{بزرگنمایی خطی عدسی}=\frac{\text{فاصلهٔ تصویر ازعدسی}}{\text{فاصلهٔ شیٔ ازعدسی}}=\frac{q}{p} \qquad (5\text{-}2)$$

به کمک رابطهٔ ۵-۱ جای تصویر نسبت به‌عدسی و به کمک رابطهٔ ۵-۲ طول تصویر معین می‌شود. چون این رابطه‌ها برای عدسیهای همگرا وواگرا، هم در مورد تصویر حقیقی وهم در مورد تصویر مجازی به‌کارمی‌روندبایدبرای اندازه‌های p و q و f بنا به قرارداد علامتهای جبری درنظر بگیریم به طوری‌که بتوانیم این رابطه‌ها را در هرمورد به‌کار بریم. برای این منظور یکی ازدوقرارداد زیررا که درمورد آینه‌های کروی دربخش ۳ به‌کار بردیم‌می‌توانیم دربارهٔ عدسیها هم به‌کار بریم.

الف- قرارداد «جهت تابش‌نورمثبت‌است».

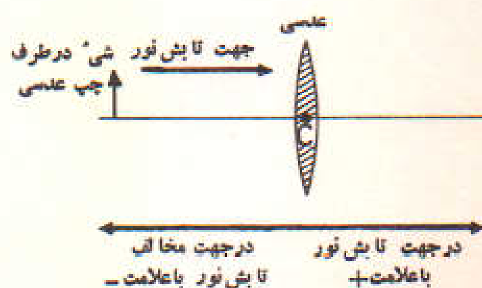
دراین قرارداد:

۱- فرمول به صورت $-\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ نوشته می‌شود؛

۲- تمام فاصله‌ها ازمرکز اپتیکی عدسی سنجیده می‌شوند؛

۳- فاصله‌ها در جهت تابش نور با علامت مثبت و در جهت مخالف تابش نور با علامت منفی منظور می‌شوند. اگرشیٔ همواره درطرف چپ عدسی گذارده شود کاربرد این قرارداد آسانتر است. زیرا می‌توانیم علامتهای جبری متداول را که روی محور-های مختصات در نظر گرفته می‌شوند به کار بریم (شکل ۵-۱۲).

بنابراین همهٔ فاصله‌ها در طرف چپ عدسی با علامت منفی ودرطرف راست آن با علامت مثبت منظور خواهند شد.



شکل ۵-۱۲- کاربرد قرارداد «جهت تابش نور مثبت است» دربارهٔ عدسی.

۴- فاصلهٔ کانونی عدسی همگرا باعلامت مثبت و فاصلهٔ کانونی عدسی واگرا با علامت منفی منظور می‌شود.

ب- قرارداد «حقیقی مثبت‌است». در این قرارداد:

۱- فرمول به صورت کلی $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ نوشته می‌شود.

۲- تمام فاصله‌ها ازمرکز اپتیکی عدسی سنجیده می‌شوند.

۳- فاصلهٔ هرشیٔ یا تصویر حقیقی از عدسی با علامت مثبت وفاصلهٔ هرشیٔ یا تصویرمجازی از عدسی با علامت منفی منظور می‌شود.

۴- فاصلهٔ کانونی عدسی همگرا مثبت وفاصلهٔ کانونی عدسی واگرا منفی است.

چند مثال

۱- شیئی رانخست درفاصلهٔ ۲۰ سانتیمتری، سپس درفاصلهٔ ۵ سانتیمتری عدسی همگرایی که‌فاصلهٔ کانونی آن ۱۵ سانتیمتر است عمود برمحور اصلی آن قرار می‌دهیم. جای ونوع تصویر وبزرگنمایی عدسی را درهردوحالت پیداکنید.

بنابه قرارداد «جهت تابش‌نورمثبت است»:

حالت یکم - داریم

$p=-۲۰cm$

(شیٔ درطرف چپ‌عدسی‌است)

$f=+۱۵cm$ (عدسی همگرا)

این اندازه‌هارا درفرمول $-\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ قرار می‌دهیم:

بنابه قرارداد «حقیقی مثبت‌است»:

حالت یکم - داریم

$p=+۲۰cm$ (شیٔ حقیقی‌است)

(عدسی همگرا و کانون حقیقی است)

$f=+۱۵cm$

این اندازه‌ها را درفرمول $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ قرار می‌دهیم:

$$-\frac{1}{-20}+\frac{1}{q}=\frac{1}{15}$$

یا

$$\frac{1}{20}+\frac{1}{q}=\frac{1}{15}$$

یا

$$\frac{1}{q}=\frac{1}{15}-\frac{1}{20}=\frac{4-3}{60}=\frac{1}{60}$$

واز آنجا: $q=+60\text{cm}$

(تصویر درطرف راست وحقیقی)

$$\text{بزرگنمایی}=\frac{q}{p}=\frac{60}{20}=3$$

یعنی تصویر حقیقی است ودر ۶۰ سانتی‌متری عدسی ودرطرف‌دیگرعدسی تشکیل‌می‌شود و بلندی آن سه برابر بلندی شیٔ است.

$$\frac{1}{20}+\frac{1}{q}=\frac{1}{15}$$

یا

$$\frac{1}{q}=\frac{1}{15}-\frac{1}{20}=\frac{4-3}{60}=\frac{1}{60}$$

و ازآنجا: $q=+60\text{cm}$

(تصویر حقیقی)

$$\text{بزرگنمایی}=\frac{q}{p}=\frac{60}{20}=3$$

یعنی تصویر حقیقی است و درفاصلهٔ ۶۰ سانتیمتری عدسی تشکیل می‌شود وبلندی آن‌سه برابر بلندی شیٔ است.

حالت دوم

(شیٔ درطرف چپ عدسی) $p=-5\text{cm}$

$$-\frac{1}{-5}+\frac{1}{q}=\frac{1}{15}$$

$$\therefore\ \frac{1}{q}=\frac{1}{15}-\frac{1}{5}=\frac{1-3}{15}=-\frac{2}{15}$$

و: $q=-7.5\text{cm}$

(تصویردرطرف چپ عدسی ومجازی)

$$\text{بزرگنمایی}=\frac{q}{p}=\frac{7.5}{5}=1.5$$

در این حالت یك تصویر مجازی درطرف چپ عدسی (یعنی در همان طرف‌شیٔ) به فاصلهٔ ۷/۵ سانتیمتر ازعدسی تشکیل‌می‌شودکه بلندی آن ۱/۵ برابربلندی شیٔ است.

حالت دوم-

(شیٔ حقیقی) $p=5\text{cm}$

$$\frac{1}{5}+\frac{1}{q}=\frac{1}{15}$$

$$\therefore\ \frac{1}{q}=\frac{1}{15}-\frac{1}{5}=\frac{1-3}{15}=-\frac{2}{15}$$

و: (تصویرمجازی است) $q=-7.5\text{cm}$

$$\text{بزرگنمایی}=\frac{q}{p}=\frac{7.5}{5}=1.5$$

در این حالت یك تصویر مجازی درفاصلهٔ ۷/۵ سانتیمتری عدسی تشکیل‌می‌شودکه بلندی آن ۱/۵ برابر بلندی شیٔ است.

۲- یك عدسی همگرا ازشیئی‌که درفاصلهٔ ۱۲ سانتیمتری آن قرارگرفته تصویر مجازی داده است که ۴برابرشیٔ است. فاصلهٔ تصویرازعدسی وفاصلهٔ کانونی عدسی چه اندازه است؟

بنابه‌قرارداد «جهت تابش‌نور مثبت‌است»

$\text{بزرگنمایی} = \frac{q}{p} = 4$

$\therefore q = 4p = 4 \times 12 = 48cm$

بنابراین:

(شیٔ درطرف چپ عدسی) $p = -12cm$

(تصویرمجازی‌وطرف‌چپ‌عدسی) $q = -48cm$

این اندازه‌ها را درفرمول

$-\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ قرار می‌دهیم:

$-\frac{1}{-12} + \frac{1}{-48} = \frac{1}{f}$

یا: $\frac{1}{f} = \frac{1}{12} - \frac{1}{48} = \frac{4-1}{48} = \frac{3}{48}$

و ازآنجا: $f = 16cm$

بنا به‌قرارداد «حقیقی‌مثبت است»

$\text{بزرگنمایی} = \frac{q}{p} = 4$

$\because q = 4p = 4 \times 12 = 48cm$

بنابراین:

(شیٔ حقیقی) $p = 12cm$

(تصویر مجازی) $q = -48cm$

این اندازه‌ها را درفرمول

$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ قرارمی‌دهیم:

$\frac{1}{12} + \frac{1}{-48} = \frac{1}{f}$

یا: $\frac{1}{f} = \frac{1}{12} - \frac{1}{48} = \frac{3}{48}$

و ازآنجا $f = 16cm$

۳ـ شیئی در فاصلهٔ ۱۰ سانتیمتری عدسی واگرایی که فاصلهٔ کانونی آن ۱۵ سانتیمتر است قراردارد. چگونگی تصویر وفاصلهٔ آن را ازعدسی معین کنید.

بنا به‌قرارداد «جهت تابش‌نورمثبت است»

(شیٔ درطرف‌چپ‌عدسی) $p = -10cm$

(عدسی واگرا) $f = -15cm$

این اندازه‌ها را درفرمول

$-\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ می‌گذاریم

$\therefore -\frac{1}{-10} + \frac{1}{q} = \frac{1}{-15}$

یا $\frac{1}{q} = -\frac{1}{15} - \frac{1}{10} = \frac{-2-3}{30} = -\frac{1}{6}$

یا $q = -6cm$

یعنی تصویر در ۶ سانتیمتری طرف چپ عدسی تشکیل می‌شود ومجازی است.

بنا به‌قرارداد «حقیقی مثبت‌راست»

(شیٔ حقیقی) $p = +10cm$

(کانون مجازی) $f = -15cm$

این اندازه‌ها را درفرمول

$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ می‌گذاریم:

$\therefore \frac{1}{10} + \frac{1}{q} = \frac{1}{-15}$

$\frac{1}{q} = -\frac{1}{15} - \frac{1}{10} = \frac{-2-3}{30} = -\frac{1}{6}$

یا $q = -6cm$

یعنی‌تصویرمجازی‌ودرفاصلهٔ ۶ سانتیمتری عدسی است.

نقاط مزدوج ـ معادلهٔ

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

نسبت به فاصله‌های p و q متقارن است. از این خاصیت نتیجه می‌شود که می‌توان جای شیء و تصویر حقیقی حاصل از آنرا در عدسی عوض کرد. یعنی وقتی عدسی ازیك شیء تصویر حقیقی‌می‌دهد، اگر شیء در محل تشکیل تصویر قرار گیرد تصویر درجای شیء تشکیل خواهد شد. مثلاً درهریك از حالت‌هایی که در شکلهای ۵-۶ و ۵-۷ و ۵-۸ (صفحه ۹۷) نشان داده شده‌است، اگر شیء OA به‌جای تصویر IB قرار گیرد تصویر IB درست در جای‌شیء OA تشکیل می‌شود.

I و O را «نقاط مزدوج» گویند.

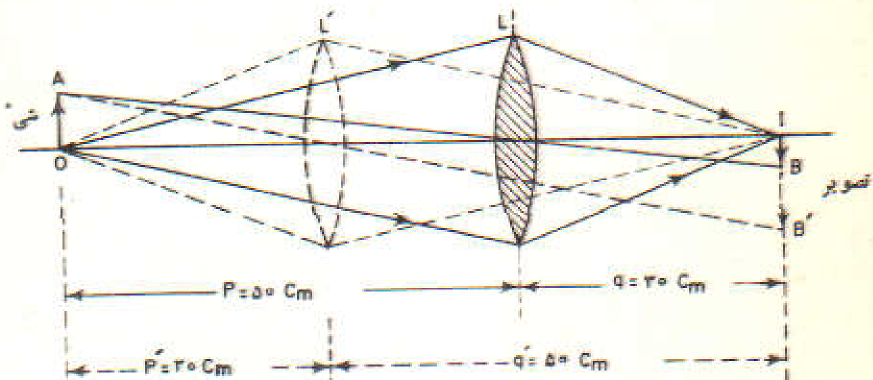
در آزمایشگاه برای نشان دادن فاصله‌های مزدوج با یك عدسی و یك صفحه (که تصویر روی آن تشکیل می‌شود) می‌توان جای شیء و صفحهٔ تصویر را با هم عوض کرد یا این که فاصلهٔ شیء و صفحه تصویر را ثابت نگهداشت وخود عدسی را جابجا نمود. مثلا اگر p=۳۰cm و q=۵۰cm باشد چنانچه عدسی را درفاصلهٔ ۵۰ سانتیمتری شیء قرار دهیم تصویر حقیقی آن درفاصلهٔ ۳۰ سانتیمتری عدسی تشکیل خواهد شد (شکل ۵-۱۳). به‌عبارت دیگر اگر فاصلهٔ شیء از صفحه تصویر ثابت باشد برای تشکیل تصویر واضح روی این‌صفحه می‌توان عدسی را در دو وضع متفاوت قرار داد ولی در این دو وضعیت طول تصویرهایی‌که روی صفحه تصویر تشکیل می‌شوند باهم برابر نیست‌بلکه یکی بزرگتر از شیء و دیگری کوچکتر از آن است.

در مثال بالا، نسبت طول تصویر و شیء در یك حالت $\frac{۵}{۳}$ و در حالت دیگر $\frac{۳}{۵}$ است.

همگرایی عدسیهای ساده ـ عکس فاصله کانونی هر عدسی ساده را بنا به تعریف «همگرایی» عدسی می‌نامند:

$$\text{همگرایی عدسی}=\frac{۱}{\text{فاصله کانونی عدسی}}$$

همگرایی را معمولا به‌حرف C نمایش می‌دهند و واحد آن «دیوپتری» است به‌شرط آن‌که f (فاصلهٔ



شکل ۵-۱۳- نقاط مزدوج در یك عدسی

کانونی عدسی) برحسب متر باشد. دراین‌صورت:

$$C = \frac{1}{f} \quad \text{(دیوپتری)} \quad \text{(متر)} \qquad (۵-۳)$$

بنابراین یك دیوپتری همگرایی عدسی است که فاصله کانونی آن یك متر باشد.

دراین رابطه f در حکم یك عدد جبری است که اگر عدسی همگرا باشد علامت آن مثبت و اگر واگرا باشد علامت‌آن منفی منظور می‌شود. بنابر-این همگرایـی عدسیهای همگرا مثبت و همگرایـی عدسیهای واگرا منفی است (و مناسبتر است که آن را واگرایی بنامیم). مثلا همگرایی یك عدسی ساده همگرا کـه فـاصله کانونـی آن $5\,cm$ است برابر $C = \frac{1}{0/05m} = 20$ دیوپتری و همگرایی یك عـدسـی واگـرا به فاصلهٔ کانونـی $50cm$ برابر $C = \frac{1}{-0/50m} = -2$ دیوپتری است.

رابطه همگرایی عدسی ساده با مشخصات ساختمانی آن - همگرایی یك عدسی ساده از یك طرف باشعاعهـای انحنـاء دو وجـه عدسی واز طرف دیگر باضریب شکست ماده‌ای‌کـه عدسی از آن ساخته شده است بستگی دارد و از رابطهٔ زیر کـه در واقع فرمـول ساخت عدسی است مشخص می‌شود:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad (۵-۴)$$

در این رابطه n ضریب شکست و R_1 و R_2 شعاعهای انحنـاء دو وجه عدسی است . R_1 و R_2 مانند f اعداد جبری هستند کـه علامتهای مثبت یا منفـی آنهـا طبق دستورهای قراردادی زیـر معین می‌شود:

۱- برای آسانی کار جهت تابش نور از چپ به راست گرفته می‌شود.

۲- اگر پرتوهای نور تابیده، به‌سطح محدب عدسی برخورد کند علامت R مثبت است.

۳- اگر پرتوهای نور تابیده ، به سطح مقعر عدسی برخورد کند علامت R منفی است.

بدیهی است کـه اگر یکی از سطوح عدسی تخت باشد R آن بینهایت و $\frac{1}{R}$ صفر است.

برای توضیح بیشتر به مثال زیر توجه کنید:

مثال- همگرایی‌یك‌عدسی هلالی شکل واگرا را که ضریب شکست آن تقریباً ۱/۵ و شعاعهـای انحناء دو وجه آن $25cm$ و $50cm$ است حساب کنید.

- اگـر R_1 و R_2 به ترتیب شعاعهـای دو وجه مقعر ومحدب این عدسی (طبق شکل ۵-۱۴) باشد و جهت تابش نور را از چپ به‌راست بگیریم داریم:

$$R_1 = -0/25m \quad \text{و} \quad R_2 = -0/50m$$

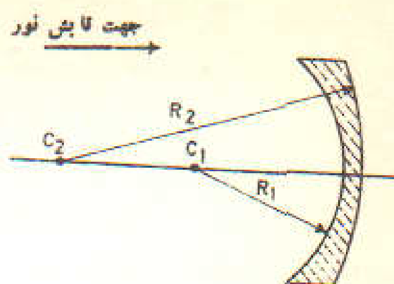
بنابراین طبق رابطه ۵-۴ خواهیم داشت:

$$C = \frac{1}{f} = (1/5 - 1)\left(\frac{1}{-0/25} - \frac{1}{-0/50}\right)$$

$$= 0/5\left(-\frac{1}{0/25} + \frac{1}{0/50}\right)$$

$$= -\frac{0/5}{0/50} = -1 \text{ دیوپتری}$$

یعنی $C = -1$ دیوپتری و $f = -1$ متر است.



شکل ۵-۱۴

برای ساختن یک عدسی با فاصلهٔ کانونی مشخص، باید شعاعهای انحنای دو وجه عدسی و ضریب شکست شیشهٔ آن به‌دقت معین شود. معمولاً برای اندازه‌گیری ضریب شکست شیشهٔ عدسی، از نور زردحاصل ازیک‌لامپ سدیم استفاده می‌کنند. با تعیین ضریب شکست، شعاعهای انحنای دو وجه عدسی مورد نظر از رابطه ۵-۴ که فرمول ساخت عدسی است حساب می‌شود.

مثال - می‌خواهیم‌عدسی کوژ-تختی بسازیم که فاصلهٔ کانونی آن ۵۰/۰cm باشد. اگر ضریب شکست شیشهٔ‌آن برای نور زرد سدیم ۱/۵۲۰ باشد شعاع انحنای وجه محدب آن را که باید ساییده و صیقلی شود حساب کنید.

- چون عدسی همگراست، $f=+۰/۵۰۰m$ است . فرض می‌کنیم نور ابتدا به‌وجه محدب بتابد واز وجه‌مسطح خارج شود دراین‌صورت $R_۲=\infty$ است به ازاء $n=۱/۵۲۰$ خواهیم داشت:

$$\frac{۱}{۰/۵۰۰}=\left(۱/۵۲۰-۱\right)\left(\frac{۱}{R_۱}-۰\right)$$

و $R_۱=۰/۵۰۰\times۰/۵۲۰$

$=۰/۲۶۰\ m$

یا $R_۱=۲۶/۰cm$

بدیهی است شعاع انحنای دستگاه ساینده و صیقل‌دهنده وجه محدب عدسی نیز باید ۲۶/۰ سانتیمتر باشد.

همگرایی عدسیهای مرکب - عدسیهای مرکب از ترکیب دو یا چند عدسی ساده به هم چسبیده ساخته می‌شوند. شکل ۵-۱۵ عدسی‌مرکبی را نشان می‌دهد که از دو عدسی ساده همگرا و واگرای چسبیده به‌هم تشکیل یافته است.

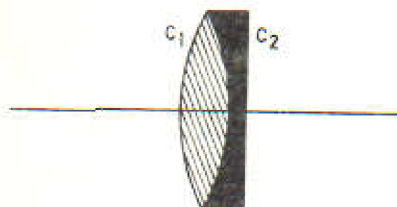
هرعدسی مرکب‌را می‌توان معادل یک‌عدسی ساده دانست که همگرایی آن برابر مجموع جبری همگرایی عدسیهای ساده تشکیل دهنده آن است . بنابراین اگر همگراییهای دوعدسی به‌هم‌چسبیده در شکل ۵-۱۵ به‌ترتیب $C_۱$ و $C_۲$ باشد همگرایی مجموعه برابر است با :

$$C=C_۱+C_۲ \qquad (۵-۵)$$

مثلاً اگر همگرایی عدسی ساده همگرا ۵ دیوپتری وهمگرایی‌عدسی‌ساده واگرا ۳- دیوپتری باشد همگرایی مجموعه برابر است با :

$C=۵-۳=۲$ دیوپتری

یعنی مجموعهٔ این دو عدسی معادل عدسی همگرایی به‌همگرایی ۲ دیوپتری است.



شکل ۵-۱۵- عدسی مرکب

فایده عدسیهای مرکب این است که به‌وسیلهٔ آنها در دستگاههای دقیق اپتیکی می‌توان تصویرهای واضحتر و دقیق‌تر با استفاده از نور سفید به‌دست آورد.

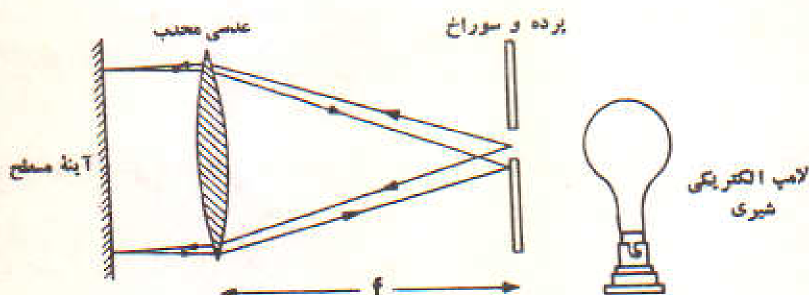
پرسش ۵-۶- آیا می‌توانید با استفاده از فرمول عدسیها رابطه ۵-۵ را مستقیماً به‌دست آورید؟

خودتان آزمایش کنید

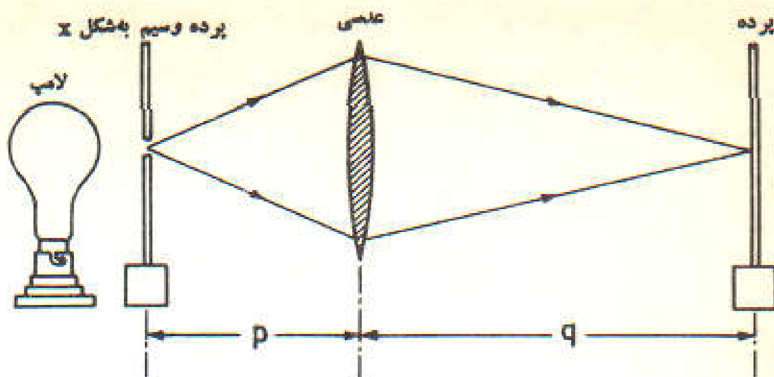
فاصلهٔ کانونی یك عدسی همگرا را اندازه بگیرید.

۱) صفحهٔ فلزی سفید رنگ ونازکی را که در وسط سوراخ گردی دارد آماده‌کنید و دو رشته سیم باریك عمود برهم درامتداد دوقطر سوراخ روی صفحه نصب نمایید و صفحه را در سطح قائم روی پایه قراردهید وآن را از پشت توسط یك لامپ الکتریکی شیری رنگ روشن کنید. عدسی همگرایی راکه روی پایه‌ای نصب است با یك آینهٔ تخت مقابل هم طوری بگذاریدکه دسته پرتوهایی که ازسوراخ صفحهٔفلزی به عدسی می‌تابند پس ازگذشتن ازعدسی به آینه تابیده و از روی آن بازتاب حاصل کنند و دوباره وارد عدسی بشوند (شکل ۵-۱۶). آن قدر جای عدسی را تغییر دهید تا تصویر واضحی از دورشته سیم که در حکم شیٔ است برروی صفحه نزدیك سوراخ تشکیل شود. دراین حالت فاصلهٔ صفحه‌را از عدسی به‌دقت اندازه بگیرید. این فاصله برابر فاصلهٔ کانونی عدسی است. زیرا جسم درسطح کانونی عدسی (یعنی‌سطحی که از کانون عدسی می گذرد) قراردارد وپرتوهایی که ازآن به عدسی می‌تابند موازی با محور اصلی ازآن خارج شده به سطح آینه به‌طور عمودی می‌تابند و پس از بازتاب ازروی آینه و گذشتن از عدسی دوباره درسطح کانونی آن جمع می‌شوند.

۲) می‌توانید به کمك رابطهٔ $\frac{1}{f}=\frac{1}{q}+\frac{1}{p}\pm$ با تعیین فاصله‌های شیٔ وتصویر ازعدسی، فاصلهٔ کانونی‌آن را حساب‌کنید. برای این منظور همان وسایل‌آزمایش ۱ را به‌کار برید ولی به‌جای‌آینه، صفحهٔ سفید رنگ دیگری بگذارید (شکل ۵-۱۷) وآن قدر این صفحه را جا به‌جاکنید تا تصویر دورشته سیم‌به



شکل ۵-۱۶- تعیین فاصلهٔ کانونی عدسی همگرا.



شکل ۵-۱۷- تعیین فاصلهٔ کانونی عدسی باروش اندازه‌گیری p و q.

طور واضح برروی آن تشکیل شود. p و q را به دقت اندازه بگیرید. جای عدسی یا صفحه‌ها را تغییر دهید و آزمایش را تکرار کنید ونتایج را درجدولی مانند جدول ۵-۱ ببرید. اندازهٔ f را درهرآزمایش حساب کنید و میانگین بگیرید ونتیجهٔ حاصل را با آنچه ازآزمایش ۱ به‌دست آورده‌اید مقایسه کنید.

جدول ۵-۱

p	q	$\frac{1}{p}$	$\frac{1}{q}$	$\pm\frac{1}{p}+\frac{1}{q}$
اندازه $\frac{1}{f}$				---------
اندازه f				----------

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) سه نوع عدسی همگرا راکه می‌شناسید نام ببرید وشکل آنها را رسم کنید.

۲) کانون اصلی، مرکز اپتیکی وفاصلهٔ کانونی عدسی را تعریف کنید.

۳) چگونه با انجام یك آزمایش می‌توانید فاصلهٔ کانونی یك عدسی همگرا را تعیین کنید؟

۴) بارسم دوشکل نشان دهید که یك عدسی همگرا می‌تواند هم تصویر حقیقی و هم تصویر مجازی بدهد.

۵) دومثال ازکاربرد عدسیها بیاورید که درآنها ازتصویرحقیقی عدسی استفاده می‌شود، و دو مثال ازکاربرد عدسیها بیاورید که درآنها ازتصویر مجازی عدسی استفاده می‌شود.

۶) جسمی را درچه فاصله‌ای ازیك عدسی همگرا باید قراردهید تا تصویرحاصل ازآن:

الف- دربی‌نهایت تشکیل شود،

ب- به اندازهٔ خود جسم باشد،

ج- مستقیم باشد،

د- وارونه و بزرگتر ازجسم باشد،

ه- تا ممکن است به خود جسم نزدیك باشد؟

۷) درچه حالتی می‌توان توسط یك عدسی همگرا تصویر مستقیم به‌دست آورد؟ این تصویرحقیقی است یا مجازی؟ با رسم شکلی آن را نشان دهید.

۸) منظور از تصویر حقیقی چیست؟ با رسم شکل توضیح دهید چگونه یك عدسی همگرا از شیٔ کوچکی که روی محور اصلی آن قراردارد یك تصویر حقیقی می‌دهد.

۹) چند نوع عدسی واگرا می‌شناسید؟ شکل آنها را رسم کنید.

۱۰) چگونه به ظاهرمی‌توانید یك عدسی واگرا را ازعدسی همگرا تشخیص دهید. اگرنتوانیدآنها را از روی شکل ظاهری تمیز دهید برای تشخیص آنها چه می کنید؟

۱۱) تصویری که عدسی واگرا از شی حقیقی می‌دهد مجازی است یا حقیقی؟ با رسم شکل نشان دهید.

۱۲) اگرشیئی روی کانون یك عدسی واگرا قرارگیرد تصویر آن کجا و چگونه تشکیل می‌شود؟ با رسم شکل نمایش دهید.

۱۳) به‌چه نقاطی در عدسیها نقاط مزدوج گفته می‌شود؟ این نقاط چه‌ویژگیهایی دارند؟

۱۴) چرا عدسیها دوتاکانون وآینه‌های کروی فقط یك‌کانون دارند؟

۱۵) درنظر بگیریدکه توسط یك عدسی از یك جسم تصویری بر روی صفحه‌ای تشکیل شده است. چه‌تغییری در وضع تصویر حاصل می‌شود اگر نیمهٔ بالایی یا نیمهٔ پائینی عدسی را بپوشانید؟

۱۶) در بیشتر دماسنجها، به‌ویژه دماسنج پزشکی، ساقه دماسنج به‌صورت یك عدسی استوانه‌ای ـ شکل ساخته می‌شود تا سطح جیوه از پشت آن بخوبی مشخص گردد. آیا این عدسی همگراست یا واگرا؟ طرز کار آن را توضیح دهید.

۱۷) اگر یك عدسی را (چه همگرا و چه واگرا) در آب فرو برید چه تغییری در فاصلهٔ کانونی آن حاصل می‌شود؟

۱۸) از یك عدسی کوژ ـ تخت برای گرفتن تصویر از یك جسم دور استفاده می‌شود. اگر وجه تخت یا وجه محدب آن به‌طرف جسم گرفته‌شود آیا در کیفیت تصویر تغییری حاصل می‌شود؟

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) هرگاه ذره‌بینی را درفاصلهٔ ۱۰ سانتیمتری جسم کوچکی قراردهیم تصویر آن مستقیم ودوبرابر بزرگتر دیده می‌شود. فاصلهٔ کانونی ذره‌بین را حساب کنید.

۲) شیئی به‌طول یک‌میلیمتر درفاصلهٔ ۲۹ میلیمتری عدسی همگرایی‌که فاصلهٔ کانونی آن ۳۰میلیمتر است قراردارد وازآن تصویری درعدسی‌دیده می‌شود. فاصلهٔ تصویر ازعدسی وبزرگی‌آن چه اندازه‌است؟

۳) عدسی همگرایی به فاصلهٔ کانونی ۱۰ سانتیمتر از یك شیء تصویر حقیقی تشکیل داده است که بزرگی آن ۲ برابر بزرگی شیء است. فاصله‌های شیء وتصویر ازعدسی چه اندازه است؟

۴) اگرفاصلهٔ کانونی عدسی یك دستگاه عکسبرداری ۵ سانتیمتر باشد و بخواهیم با این دستگاه از شیئی که درفاصلهٔ یك متری عـدسی آن واقع است تصویر واضحی برروی فیلم درون آن به دست آوریم فاصلهٔ عدسی از فیلم را چه اندازه باید تنظیم کنیم؟

۵) فاصلهٔ کانونی عدسی‌همگرایی ۱۰ سانتیمتراست. شیئی را درچه فاصله‌هایی از این عدسی بایـد بگذاریم تا ازآن:

الف ـ تصویر حقیقی ۳ برابرشیء تشکیل شود،

ب ـ تصویر مجازی ۳ برابرشیء درآن دیده شود؟

درهر دوحال طرز تشکیل تصویر را با رسم شکل نمایش‌دهید.

۶) شیئی به‌طول ۲ سانتیمتر درفاصلهٔ ۴۰ سانتیمتری عدسی واگرایی به فاصلهٔ کانونی ۲۰ سانتیمتر قراردارد. فاصلهٔ تصویر را ازعدسی وطول آن را حساب کنید.

۷) فاصلهٔ کانونی یك عدسی همگرا ۱۶ سانتیمتر است. مطلوبست فاصله تصویر حاصل از یك شیء که در فواصل ۴و۸و۱۶و۳۲و۴۸و۸۰ سانتیمتری این عدسی قرارگیرد.

۸) یك عدسی کوژـتخت از شیشه نوع فلینت ساخته شده است کـه ضریب شکست آن برای نور بنفش ۱/۶۹ و برای نور قرمز ۱/۶۴ است. اگـر شعـاع انحناء وجه محدب آن ۰/۲۰ متر باشد فاصلهٔ میان‌کانونهای این عدسی برای دو نور تك رنگ بنفش وقرمز چه‌اندازه است؟

۹) یك عدسی از شیشه‌ای ساخته شده است‌که ضریب شکست متوسط آن ۱/۵ وشعاعهای انحنای دو وجه آن ۰/۳۰ متر و ۰/۶۰ متر است. مطلوبست فاصلهٔ کانونی وهمگرایی این عدسی اگر:

الف ـ هر دو وجه آن محدب باشد.

ب ـ هر دو وجه آن مقعر باشد.

جواب: الف ـ ۰/۴۰ متر و ۲/۵ دیوپتری. ب ـ ۰/۴۰ — متر و ۲/۵ — دیوپتری

۱۰) یك عدسی دو کوژ از شیشه‌ای به ضریب شکست $\frac{۳}{۲}$ ساخته شده وشعاعهای انحناء دو وجه آن ۲۰ سانتیمتر و ۳۰ سانتیمتر است. فاصلهٔ کانونی این عدسی را در هوا و در آب حساب کنید.

جواب: ۲۴ سانتیمتر و ۹۶ سانتیمتر

۱۱) شیئی به طول ۲ سانتیمتر در فاصلهٔ ۲۰ سانتیمتری یك عدسی کوژ ـ تخت کـه فاصلهٔ کانونی آن ۳۰ سانتیمتر و ضریب شکست آن ۱/۵۵ است قرار داده شده است. مطلوبست:

الف ـ فاصلهٔ تصویر از عدسی و طول آن.

ب ـ شعاع انحنای وجه محدب عدسی.

۱۲) دو عدسی کوژ ـ تخت داریم کـه شعاع انحنای وجه محدب هریك ۰/۲۰ متر ولـی ضریب شکست یکی ۱/۶۰ و ضریب شکست دیگری ۱/۵۰ است. اگر این دو عدسی را از طرف وجه تخت آنها بههم بچسبانیم فاصلهٔ کانونی عدسی مرکب حاصل چهاندازه خواهد شد؟

۱۳) دو عدسی همگرا که فاصلهٔ کانونی هر یك $0/30m$ است بهفاصله $0/20m$ از یکدیگر قـرار گرفتهاند بهطوری که محور اصلی آنها یکی است. شیئی بهطول $1cm$ در فاصله $0/50$ متری یکی از آنها عمود بر محور اصلی گذاشته شده است. تصویر آخری در این دستگاه دو عدسی در کجا تشکیل میشود وبزرگی آن چیست؟

۱۴) یك شیء و یك پرده بهفاصلهٔ L از یکدیگر قرار گرفتهاند. یك عدسی همگرا به فاصلهٔ کانونی f میتواند در دو وضع از این شیء تصویر واضح روی پرده بدهد. اگر Δ فاصلهٔ این دو وضع عدسی از یکدیگر باشد نشان دهید که Δ از رابطه زیر حساب میشود:

$$\Delta = L\sqrt{1-\frac{4f}{L}}$$

پاسخ به پرسشهای متن

۵-۱) بلی. اگر شعاعهای انحنای دو وجه عدسی متفاوت باشند بازهم دو کانون ازعدسی همواره به یك فاصلهاند.

۵-۲) دردستگاه عکسبرداری ودرچشم.

۵-۳) وقتی که عدسی معمولی مقابل جسمی قرار می گیرد پرتوهایی که ازجسم بهنزدیك کنارههای عدسی میتابند زودتر از پرتوهایی که به وسط آن تابیده میشوند پس ازعبور ازعدسی متقارب میشوند. بنابراین تصویر همهٔ نقاط جسم دریك سطح تشکیل نمیشود. درنتیجه وسط تصویر واضح واطراف آن تار وکج به نظرمیرسد. اگر جسم ازخطوط افقی و قـائم تشکیل یافته باشد این پدیده مشخصتر است. علت رنگی بودن اطراف تصویر این است کـه عدسی مانند منشور نور را تجزیه می کند. برای رفع این عیبها باید جلو عدسی دیافراگمی که سوراخ کوچکی دارد قرارداده شود تا پرتوهـای نوری که از آن می گذرنـد فقط به قسمت میانی عدسی بتابد. علاوه براین در اسبابهای دقیق، به جای یك عدسی چند عدسی مناسب به کار میبرند.

۵-۴) ازکانون تا نصف فاصلهٔ کانونی.

۵-۵) ازتشابه دو مثلث COA و CIB (درشکل ۵-۱۱) نتیجه می‌شود:

$$\frac{IB}{OA}=\frac{CI}{CO}=\frac{q}{p} \qquad (۱)$$

و ازتشابه دومثلث FIB و FCL نتیجه می‌شود:

$$\frac{IB}{CL=OA}=\frac{FI}{FC}=\frac{q-f}{f} \qquad (۲)$$

ازمقایسهٔ دورابطهٔ (۱) و (۲) نتیجه می‌شود:

$$\frac{q}{p}=\frac{q-f}{f}$$

یا:

$$qf=pq-fp$$

با تقسیم دوطرف این رابطه بر pqf خواهیم داشت:

$$\frac{۱}{p}=\frac{۱}{f}-\frac{۱}{q}$$

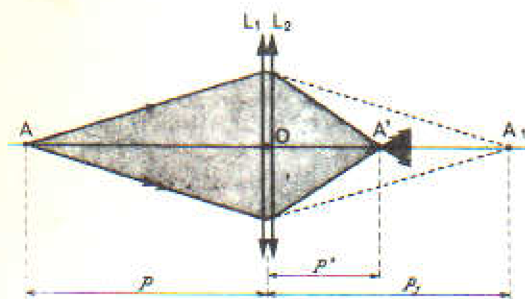
یا:

$$\boxed{\frac{۱}{p}+\frac{۱}{q}=\frac{۱}{f}}$$

۵-۶) درنظر بگیریم که دوعدسی همگرای ساده $L_۱$ و $L_۲$ به‌قدر کفایت نازك داریم که می‌توانیم آنها را پهلوی هم قرار دهیم به‌طوری‌که مرکز نوری مشترکی داشته باشند. نقطه نورانی A را روی محور اصلی مشترك این دو عدسی به فاصله P از مرکز نوری مشترکشان (یعنی نقطه O) درنظر می گیریم (شکل ۵-۱۸).

عدسی $L_۱$ (به‌فاصله کانونی $f_۱$) به‌تنهایی از نقطه A تصویرحقیقی $A_۱$ را می‌دهد وطبق قرارداد حقیقی مثبت است داریم:

$$\frac{۱}{p}+\frac{۱}{P_۱}=\frac{۱}{f_۱} \qquad (۱)$$



شکل ۵-۱۸

تصویر $A_۱$ برای عدسی $L_۲$ (به فاصله کانونی $f_۲$) در حکم شیء مجازی است که از آن تصویر نهایی A' به‌دست می‌آید وبنابه همان‌قرارداد حقیقی مثبت است داریم:

$$-\frac{۱}{P_۱}+\frac{۱}{P'}=\frac{۱}{f_۲} \qquad (۲)$$

از جمع طرفین دو رابطه (۱) و (۲) با هم نتیجه می‌شود:

$$\frac{۱}{P}+\frac{۱}{P'}=\frac{۱}{f_۱}+\frac{۱}{f_۲}$$

اگر فاصله کانونی عدسی معادل این دو عدسی راکه می‌تواند از نقطه A تصویر A' را بدهد به F نمایش دهیم خواهیم داشت :

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{P'}=\frac{1}{F}$$

بنابراین:

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \qquad (3)$$

یعنی مجموعه دو عدسی ساده چسبیده به‌هم به‌فواصل کانونی f_1 و f_2 معادل یك عدسی به‌فاصله کانونی F است که بین آنها رابطه (۳) برقرار است.

چون $\frac{1}{f_1}=C_1$ و $\frac{1}{f_2}=C_2$ است اگر $\frac{1}{F}$ را به C نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$\boxed{C=C_1+C_2}$$

۶

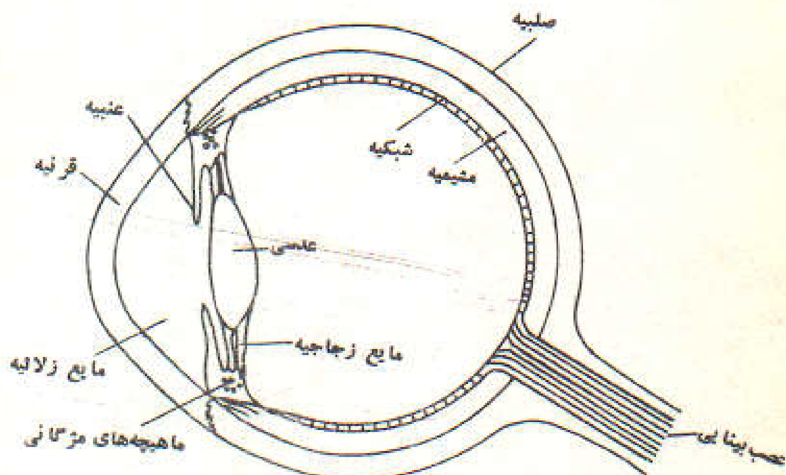
کاربرد عدسیها

در دستگاههای مربوط به بینایی

چشم در واقع برای ما مهمترین دستگاهی است که در آن عدسی به‌کار رفته است ولی دامنهٔ عمل آن محدود است، زیرا نمی‌تواند اشیای خیلی ریز یا اشیای خیلی دور را ببیند. علاوه‌براین نمی‌تواند مناظری را که می‌بیند ضبط کند و در موقع لزوم آنها را آشکار سازد. به‌همین جهت برای کمك به‌چشم وافزودن دامنهٔ بینایی آن اسبابهای چندی براساس خواص عدسیها ساخته شده است. در این بخش نخست ساختمان چشم را ازنظر رفتار اپتیکی آن خواهید آموخت سپس به‌اختصار با طرز استفاده از عدسیها در پاره‌ای از اسبابهای مربوط به‌بینایی آشنایی بیشتری پیدا خواهید کرد.

چشم

شکل ۶-۱ طرح ساده‌ای از ساختمان چشم انسان را نشان می‌دهد که تقریباً به شکل کره است. قسمت خارجی کرهٔ چشم از غشای سفید رنگ سختی پوشیده شده و درون آن از مایعهای شفافی پرشده است. درجلو کرهٔ چشم پردهٔ شفافی است که قرنیه نام دارد. بعد ازقرنیه قسمت رنگین چشم قراردارد که



شکل ۶-۱- طرح ساده‌ای ازچشم انسان.

در وسط آن سوراخ مردمك است. قطر سوراخ مردمك بسته به‌میزان نور، توسط قسمت رنگین چشم کوچك و بزرگ می‌شود و درواقع مقدار نوری راکه‌وارد چشم می‌شود تنظیم می‌کند.

پرسش ۶-۱ - قطر مردمك چشم درچه‌صورت کوچك ودرچه صورت بزرگ می‌شود؟

بعد ازمردمك، عدسی شفاف چشم که همگرا است قراردارد. این عدسی ازاشیایی که به‌آنها نگاه می‌کنیم تصویر کوچکی برروی قسمتی ازپردهٔ‌حساس عقب چشم که شبکیه نام دارد تشکیل می‌دهد.

اعصاب بینایی که در این قسمت از سطح شبکیه پراکنده‌اند چشم را به مغز ارتباط می‌دهند.

پس‌ازآن که تصویریك شی روی‌پردهٔ شبکیه افتاد، خبر تشکیل تصویر توسط اعصاب بینایی از شبکیه به‌مغزفرستاده می‌شودومغزاین خبررا طوری تعبیرمی‌کندکه ما در واقع‌وضع وابعادکامل اشیا را چنان‌که هستند می‌بینیم. بنابراین آنچه‌راکه‌می‌بینیم تصویری نیست‌که برروی پردهٔ‌شبکیهٔ چشم تشکیل می‌شود بلکه تعبیری است که مغز از این تصویر می‌کند و نتیجهٔ آن، چنان‌که گفتیم، دیدن خود اشیائی است که به‌آنها نگاه می‌کنیم.

تطابق چشم - چشم‌طبیعی‌همواره‌طوری‌خود را تطبیق می‌کندکه اشیای دور و نزدیك را واضح ببیند. این عمل را تطابق گویند. عمل تطابق به کمك ماهیچه‌هایی به‌نام ماهیچه‌های مژگانی صورت می‌گیرد. این ماهیچه‌ها سبب می‌شوند که ضخامت عدسی چشم‌ودرنتیجه‌فاصلهٔ کانونی‌آن تغییرکند برای دیدن اشیای‌نزدیك، ضخامت عدسی زیادو درنتیجه فاصلهٔ کانونی آن کم می‌شود وبرای دیدن اشیای دوربرعکس، ضخامت عدسی کم و فاصلهٔ کانونی آن زیاد می‌شود ولی درهرحال این تغییرات در چشم طبیعی طوری صورت می‌گیرد که تصویر واضحی ازاشیا، چه دور وچه نزدیك، برروی پردهٔ شبکیه تشکیل شود.

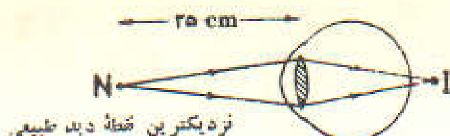
معایب دید واصلاح آنها با عینك - چشم‌طبیعی با عمل تطابق می‌تواند اشیا را از فاصلهٔ خیلی‌دور یا به‌اصطلاح از بی‌نهایت (دورترین فاصلهٔ دید) تا فاصلهٔ ۲۵ سانتیمتری (نزدیکترین فاصلهٔ دید) به طور وضوح ببیند ولی، چشم بعضی از اشخاص احتمالاً به علت کوچك بودن یا بزرگ بودن کرهٔ چشم نسبت به‌حالت طبیعی‌نمی‌تواندبین این دوحد تطابق کند. در نتیجه معمولاً دوعیب دوربینی و نزدیك‌بینی درچشم پیدا می‌شود.

اینك شخص دوربینی را در نظر بگیریم که اشیا را می‌تواند ببیند ولی نزدیکترین فاصلهٔ دیداو از ۲۵سانتیمتر بیشتر است. بنابراین، درچشم‌این شخص تصویر اشیای نزدیك (مثلاً یك صفحهٔ کتاب که در ۲۵ سانتیمتری آن است) پشت پردهٔ شبکیه تشکیل‌می‌شود (شکل ۶-۲) وعدسی‌چشم‌نمی‌تواند با عمل تطابق تصویرآنها را روی این پرده‌بیندازد. درنتیجه این اشیا تار دیده می‌شوند.

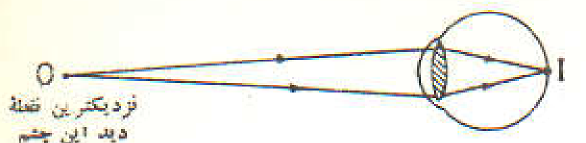
برای اصلاح این عیب باید عدسی چشم را با یك عدسی همگرا که معمولاً به‌صورت عینك به کارمی‌رود تقویت‌کرد تا پرتوهای‌گسیل‌شده ازشیٔ را پیش از رسیدن به چشم طوری به‌هم نزدیك کند که پس ازگذشتن ازعدسی چشم، درست برروی‌پردهٔ شبکیه تصویرشیٔ را تشکیل دهند. دراین صورت، چنین به‌نظرمی‌رسد که پرتوهاازنقطهٔ O که‌نزدیکترین نقطهٔ دید چشم است به‌سوی آن‌گسیل می‌شوند.

درحالت‌نزدیك‌بینی، کرهٔ چشم احتمالاً بزرگتر

چشم دوربین:



الف- کرهٔ چشم کوچکتر ازحالت طبیعی است و تصویر اشیای نزدیک پشت پردهٔ شبکیه تشکیل می‌شود.



ب- نزدیکترین فاصلهٔ دید این شخص از ۲۵ سانتیمتر بیشتر است.



ج- اصلاح چشم به وسیلهٔ عینک همگرا: چنین به نظر می‌رسد که پرتوها از نقطهٔ O (نزدیکترین نقطهٔ دید چشم) به سوی چشم گسیل می‌شوند.

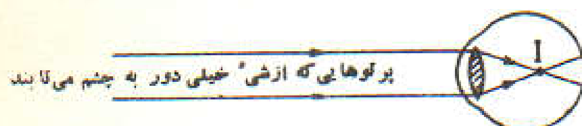
جسمی که در نقطهٔ N است ظاهراً در O دیده می‌شود

شکل ۶-۲- چشم دوربین وطرز اصلاح آن.

از حالت طبیعی است. بنابراین تصویر اشیایی که در فاصلهٔ خیلی دور ازچشم قراردارند جلو پردهٔ شبکیه تشکیل می‌شود(شکل ۶-۳) ؛ در نتیجه این اشیا تار دیده می‌شوند. بزرگترین فاصلهٔ دید چشمهای نزدیک‌بین ممکن است یك متر یاکمتر ازآن باشد.

برای اصلاح عیب نزدیک‌بینی ودیدن اشیای دور از عدسیهای واگرا، معمولا به صورت عینک، استفاده می‌شود. این عدسیها پرتوهای موازی گسیل شده از اشیای دور را پیش از ورود به چشم از هم دورمی‌کنند به‌طوری‌که پس ازعبور ازعدسی چشم،

چشم نزدیك‌بین:



الف- کرهٔ چشم بزرگتر ازحالت طبیعی است و تصویر اشیای خیلی دورجلو پردهٔ شبکیه تشکیل می‌شود.



ب- بزرگترین فاصلهٔ دید این چشم بی‌نهایت نیست.



ج- اصلاح چشم به‌وسیلهٔ عدسی واگرا.
به نظرمی‌رسدکه پرتوها از F به‌سوی چشم گسیل می‌شوند.

شکل ۶-۳- چشم نزدیك‌بین وطرز اصلاح آن.

تصویر این اشیا درست روی پردهٔ شبکیه تشکیل شود. دراین صورت چنین به‌نظر می‌رسدکه پرتوها ازنقطهٔ F که هم کانون عدسی واگرا وهم دورترین نقطهٔ دید چشم است به‌سوی آن گسیل می‌شوند.

آستیگماتیسم[1] ـ قرنیه، سطح جلویی چشم را تشکیل می‌دهد که قسمت اعظم شکست نوردرآن صورت می‌گیرد. در بسیاری ازچشمها انحنای آن با جهت تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، انحنای قرنیه درهمه جهات یکسان نیست، در نتیجه از اشیاء خطی که در جهات مختلف هستند، در آن واحد تصویر واضح بر روی پرده شبکیه تشکیل نمی‌شود. مثلاً میله‌های افقی یك پنجره واضح دیده می‌شوند در صورتیکه میله‌های قائم آن تار هستند یا برعکس، اصلاح این عیب بوسیله عدسیهای استوانه‌ای‌صورت می‌گیرد.

یادآوری ـ معمول‌چنین‌است‌که برای‌عینکها **نمره‌گذاری می‌کنند. نمرهٔ عینك در واقع همگرایی عدسی است که به $\frac{1}{f}$ (یعنی عکس فاصلهٔ کانونی) نشان داده می‌شود به‌شرط آن‌که f برحسب متر منظور شود. دراین صورت $\frac{1}{f}$ برحسب دیوپتری بیان می‌شود. نمرهٔ عینکهای همگرا با علامت** مثبت ونمرهٔ عینکهای واگرا با علامت منفی‌منظور می‌گردد. مثلا اگر نمرهٔ عینك شخص نزدیك‌بینی ۲ ـــ باشدبدین‌معنی‌است که‌همگرایی‌آن ۲ ـــ دیوپتری (دیوپتری ۲ ـــ = $\frac{1}{f}$)و $f = -\frac{1}{2}$ m یا ۵۰ سانتیمتر است. بنابراین بزرگترین فاصلهٔ دید این شخص ۵۰ cm است.

پرسش ۶-۲ ـ اگر بزرگترین فاصلهٔ دیدچشم نزدیك‌بینی ۲۵ سانتیمتر باشد همگرایی عینکی که باید برای دیدن اشیای خیلی دور به کار برد چند دیوپتری است؟

پرسش ۶-۳ ـ چرا هرچه جسمی ازما دورتر شودکوچکتر وهرچه به‌ما نزدیکترشود بزرگتردیده **می‌شود؟**

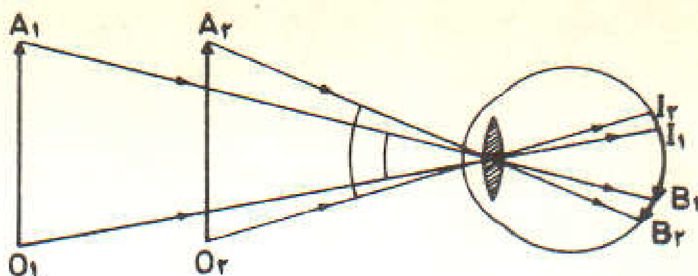
بزرگی زاویه‌ای و اندازهٔ ظاهری اجسام

وقتی‌که به ردیف تیرهای چراغ کنار خیابان نگاه می‌کنیم با آن که همهٔ آنها به یك اندازه‌اند تیرهایی را که دورترندکوتاهتر می‌بینیم. علت این است‌که بین پرتوهایی‌که ازبالا وپایین تیرهای‌دورتر به سوی چشم گسیل می‌شوند زاویهٔ‌کوچکتری‌درست می‌شود.

بنابراین پرتوهایی‌که ازکناره‌های هرجسم به وسط عدسی چشم می‌تابند با هم زاویه‌ای می‌سازند که هرچه جسم به چشم نزدیکتر باشد این زاویه بزرگتراست (شکل۶-۴). به‌همین جهت این‌زاویه را بزرگی زاویه‌ای جسم گویند. از طرف دیگر این زاویه بزرگی تصویری را که از جسم برروی پردهٔ شبکیه تشکیل می‌شود معین می‌کند بنابراین معرف اندازهٔ ظاهری جسمی است‌که دیده می‌شود.

پرسش ۶-۴ ـ اگر اندازهٔ این زاویه و فاصلهٔ جسم از چشم مشخص باشد چگونه می‌توان اندازهٔ واقعی جسم را معین‌کرد؟

۱- Astigmatism

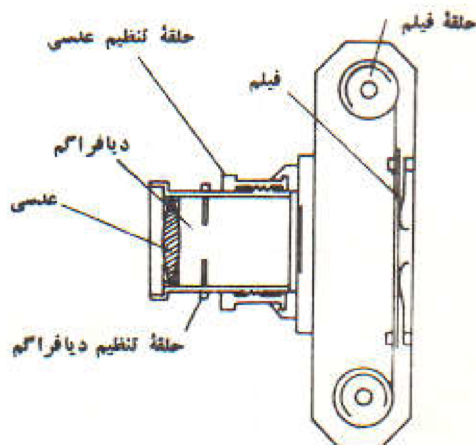


شکل ۶-۴- اندازهٔ ظاهری هرجسم بستگی به زاویه‌ای دارد که تحت آن زاویه جسم دیده می‌شود.

دستگاه عکسبرداری

شکل ۶-۵ طرح ساده‌ای از یك دستگاه عکسبرداری دستی را نشان می‌دهد. این دستگاه از یك جعبهٔ کوچك ضد نور درست شده است و به‌وسیلهٔ عدسی همگرای مناسبی که درجلو جعبه نصب است تصویر اشیا برروی فیلم (یا یك صفحهٔ حساس) که در عقب جعبه قراردارد می‌افتد. کاردستگاه عکسبرداری از لحاظ دادن تصویر مانند کارچشم است با این تفاوت که عدسی چشم برخلاف عدسی دستگاه عکسبرداری مادهٔ جامدی نیست وچنان‌که گفتیم بسته به فاصلهٔ جسم ازچشم خود به‌خود ضخامتش تغییر می‌کند و تصویر جسم را برروی پردهٔ شبکیه می‌اندازد. در صورتی که برای گرفتن عکس واضح ازاجسامی که در فاصله‌های مختلف، نسبت به دستگاه قراردارند باید فاصلهٔ عدسی را ازفیلم تغییرداد. علاوه براین برای تنظیم میزان انرژی نورانی که باید وارد دستگاه شود، یك دیافراگم که قطر دهانهٔ آن تغییر می‌کند ویك دریچه که با سرعتهای متفاوت جلو دهانهٔ عدسی باز وبسته می‌شود به کار می‌رود.

بدیهی است تصویر یك جسم دور در سطح



شکل ۶-۵- دستگاه عکسبرداری ساده.

کانونی عدسی دستگاه عکس‌برداری تشکیل می‌شود. بنابراین اگر دو دستگاه عکس‌برداری با فاصله‌های کانونی متفاوت برای گرفتن عکس از یک منظره دور به‌کار روند طول هر تصویر مستقیماً متناسب با فاصله کانونی عدسی هر دستگاه خواهد بود. اگر در هردو دستگاه یک نوع فیلم به‌کار رود مقدار کل انرژی نورانی که در مدت عکس گرفتن روی واحد سطح هر فیلم می‌رسد باید یکی باشد ولی مقدار انرژی نورانی که در واحد زمان وارد دستگاه می‌شود مستقیماً متناسب با سطح روزنه دایره‌ای شکل دیافراگم جلو عدسی است و این سطح نیز متناسب با مجذور قطر روزنه‌است. درنتیجه‌زمان عکس گرفتن با این دو دستگاه درصورتی یکی خواهد بود که نسبت فاصله کانونی به‌قطر روزنه دیافراگم در هردو یکی باشد.

عدد F [1] ـ نسبت‌فاصله کانونی‌عدسی به‌قطر روزنه دیافراگم را «عدد F» گویند.

$$F = \frac{\text{فاصله کانونی عدسی}}{\text{قطر روزنه دیافراگم}} = \frac{f}{a}$$

و معمولاً مقدار عددی آن‌بصورت $\frac{F}{5}$ ، $\frac{F}{3}$ و ... نوشته می‌شود وبدین معنی است که فاصله کانونی ۵ برابر ، ۳ برابر و ... برابر قطر روزنه است.

چون سطح تصویر متناسب با مجذور فاصله کانونی (f^2) است ومقدار نوری که از عدسی عبور می‌کند متناسب باسطح مؤثر آن و در نتیجه متناسب با a^2 است، شدت روشنایی تصویر (یعنی‌مقدار نوردر واحد سطح آن) متناسب با $\frac{a^2}{f^2}$ یا $\frac{1}{F^2}$ است. بنابراین عدسی با عدد $\frac{F}{1}$ ، شدت تصویررا ۲۵ برابرعدسی با عدد $\frac{F}{5}$ می‌دهد. یا مثلاً وقتی یک دستگاه عکسبرداری روی $\frac{F}{3}$ تنظیم می‌شود قطر دیافراگم آن $\frac{1}{3}$ فاصله کانونی عدسی است. اگر دستگاه روی $\frac{F}{6}$ تنظیم شود ، برای همان منظره در همان شرایط باید مدت عکسبرداری ۴ برابر شود.

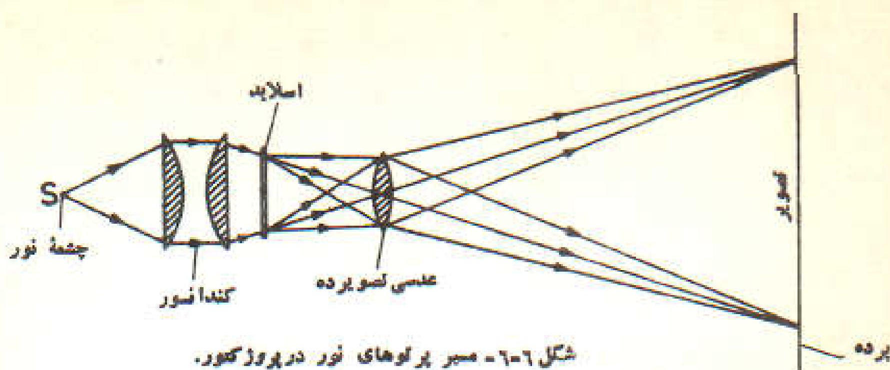
اگر ازمنظره‌ای درزمان خیلی کوتاه بایدعکس گرفته شود لازم است که عدسی باعدد F که مقدار آن کوچك است به‌کار رود یعنی‌قطر روزنه دیافراگم باید بزرگ باشد.

تهیه یك عدسی با سطح بزرگ که خطاهای آن به‌نحو رضایت‌بخشی تصحیح شده باشد پر خرج است. به‌همین جهت قیمت یك دستگاه عکسبرداری باعدسی F/1.5 چندبرابر قیمت یك دستگاه باعدسی F/3 است.

پروژکتور

شکل ۶ـ۹ ترتیب قرارگرفتن عدسیها رادر یك پروژکتور فیلم یااسلاید نشان‌می‌دهد. چشمهٔ‌نور ممکن است لامپ‌کوچك وپرنوری باشد تا نور کافی ومتمرکز ایجاد کند. به وسیلهٔ دستگاه چگالگر که مرکب از دوعدسی کوژـتخت است نور حاصل از چشمهٔ نور بر روی فیلم یا اسلاید متمرکز می‌شود تا تصویر آن برروی پرده کاملا روشن باشد. عدسی

[1] - F number

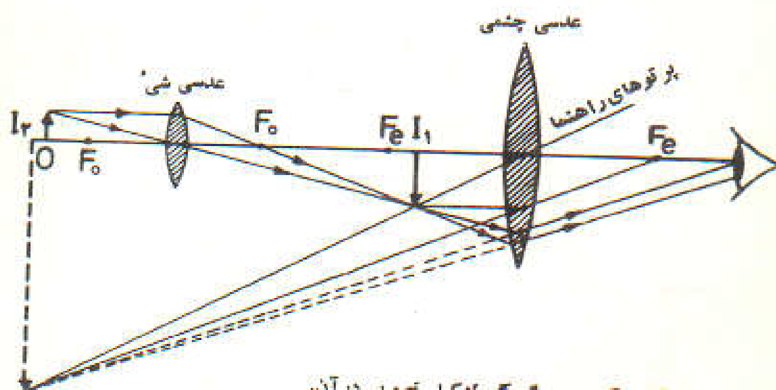


شکل ۶-۶ - مسیر پرتوهای نور در پروژکتور.

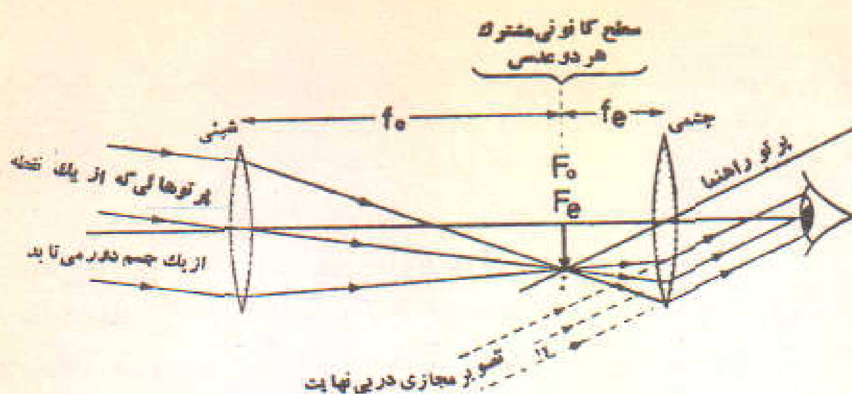
تصویر دهنده، درون لوله‌ای نصب شده است و با جلو و عقب بردن آن نسبت به‌فیلم یا اسلاید، می‌توان تصویرواضحی برروی پرده به دست‌آورد.

ریزبین (میکروسکوپ) - ریزبین یا میکروسکوپ چنان‌که می‌دانید برای دیدن اشیای خیلی ریزکه با چشم دیده نمی‌شوند به کارمی‌رود. در این اسباب از دوعدسی همگرا که فاصلهٔ کانونی هر دو کوچك است استفاده می‌شود. شکل ۶-۷ ترتیب قرارگرفتن این‌عدسیها وطرز دادن تصویررا دراین‌اسباب‌نشان می‌دهد. عدسی اول که عدسی‌شیئی نام داردازشی خیلی‌کوچك O تصویرحقیقی‌وبزرگتر و وارونهٔ I_1 را تشکیل می‌دهد. تصویر I_1 برای عدسی دوم که عدسی چشمی نامیده می‌شود درحکم یك شیء است واین عدسی ازآن تصویرنهایی I_2 را تشکیل می‌دهدکه مجازی ومستقیم (نسبت به I_1)و بازهم بزرگتر است وهمین تصویر است که با چشم دیده می‌شود.

پرسش ۶-۵ - اگرعدسی‌شیئی میکروسکوپ تصویر جسمی را ۲۰ برابرکند و عدسی چشمی آن



شکل ۶-۷ - مسیر نور در میکروسکوپ و چگونگی تشکیل تصویر درآن.



شکل ۶-۸- تشکیل تصویر در دوربین نجومی.

این تصویر را ۱۰ برابر بزرگتر نماید تصویر آخری نسبت به‌جسم چند برابر بزرگ می‌شود؟

هنگام مراجعه به شکل ۶-۷ توجه به این نکته لازم است که پرتوهای باریکتر وبدون علامت پیکان فقط برای تعیین جای‌واقعی تصویر به کاررفته‌اند. پرتوهای اصلی که ازشیٔ گسیل شده به چشم وارد می‌شوندکلفت‌تر رسم شده‌اند وجهت تابش آنها نیز با علامت پیکان مشخص گردیده است.

دوربین نجومی (تلسکوپ نجومی)-

کاردوربین نجومی در واقع این است که بزرگی زاویه‌ای‌اجسام خیلی‌دورمانندماه‌وسیارات راافزایش دهد. بنابراین وقتی با دوربین نجومی جسم دوری را نگاه می‌کنیم مانند این است‌که جسم بزرگتروبه چشم ما نزدیکتر می‌شود.

شکل ۶-۸ نشان می‌دهدکه چگونه‌دردوربین نجومی این کارصورت می‌گیرد:

هنگامی‌که عدسی شیئی دوربین به‌طرف یك ستارهٔ‌بسیار دورمیزان‌می‌شود پرتوهایی که‌ازیك‌نقطهٔ این ستاره به‌عدسی دوربین می‌تابند محسوساً با هم موازیند. بنابراین ازستاره تصویری حقیقی مانند I در کانون این عدسی تشکیل می‌شود. معمولا کانون عدسی چشمی نیز بر کانون عدسی شیئی منطبق است بنابراین تصویر I درحکم یك شیٔ حقیقی است که در کانون عدسی چشمی قراردارد و اگر چشم ناظر طبیعی باشد تصویرنهایی راکه مجازی، و بزرگتر و در بی‌نهایت است خواهد دید. تصویر آخری نسبت به شیٔ اصلی معکوس است ولی در مورد ستاره، معکوس یامستقیم بودن تصویر اهمیتی ندارد. برای این‌که توانایی دوربین در درشت‌کردن تصویر زیاد شودباید فاصلهٔ‌کانونی‌عدسی‌شیئی (یعنی fo) بزرگ و فاصلهٔ کانونی عدسی چشمی (fe) کوچك باشد (درست برعکس میکروسکوپ).

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) بارسم شکل نشان دهید چگونه تصویر جسمی که مقابل چشم است بر روی پردهٔ شبکیهٔ چشم تشکیل می‌شود.

۲) با رسم شکلی اجزای اصلی چشم وطرزکار آن را شرح دهید.

۳) طرز کار چشم را با کار دستگاه عکسبرداری مقایسه کنید و دربارهٔ وجوه مشترك وغیر مشترك آنها توضیح دهید.

۴) عیبهای دوربینی و نزدیك‌بینی چشم را شرح دهید. برای اصلاح این عیبها چه بایدکرد؟

۵) شخصی عینکی به چشم دارد که ازپشت آن چشمهای او درشت‌تر ازآنچه هست دیده می‌شود چشم این شخص دوربین است یا نزدیك بین. دربارهٔ جواب خود توضیح دهید.

۶) چگونه چشم برای دیدن اجسامی که در فواصل مختلف قرار دارند تطابق می کند؟

۷) چگونه چشم وضعیت خود را برای دیدن در روشنایی‌های متفاوت تطبیق می‌دهد؟

۸) چرا شناگر درون آب (حتی صاف) نمی‌تواند اشیاء نزدیك را به‌طور وضوح ببیند ؟ چه عینکی ممکن است به‌او کمك کند تا اجسام درون آب را واضحتر ببیند؟

۹) چرا در میکروسکوپهای ارزان قیمت که برای بچه‌ها ساخته می‌شود اطراف تصویری که در آنها دیده می‌شود رنگی است؟ چگونه این عیب در میکروسکپهای گران‌قیمت برطرف شده است؟

۱۰) توسط یك پروژکتور تصویری از یك اسلاید بر روی پرده‌ای تشکیل شده است. اگر برای بزرگتر کردن تصویر، پرده را از پروژکتور دورتر ببریم برای داشتن تصویر واضح عدسی دهندهٔ تصویر را نسبت به اسلاید باید جلوببریم یا عقب؟ دربارهٔ جواب خود توضیح دهید.

۱۱) با رسم شکل چگونگی تشکیل تصویر را درمیکروسکوپ شرح دهید.

۱۲) دوربین نجومی چگونه ازاشیای دور تصویر می‌دهد. با رسم یك شکل نمایش‌دهید.

۱۳) با استفاده از شکل ۶ـ۸ و باتوجه به‌تعریف بزرگی زاویه‌ای نشان دهیدکه درشتنمایی دوربین نجومی، یعنی نسبت بزرگی زاویه‌ای تصویر (که با دوربین دیده می‌شود) به‌بزرگی زاویه‌ای جسم دور (که بدون دوربین دیده می‌شود) وقتی‌که تصویر در بینهایت تشکیل می گردد برابر نسبت $\frac{Fo}{Fe}$ است.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) شخص دوربینی که‌کمترین فاصلهٔ دید او ۸۰ سانتیمتر است برای خواندن کتاب از یك عینك ذره‌بینی استفاده می‌کندکه فاصلهٔ کانونی‌آن ۲۰ سانتیمتر است. اگراین‌شخص‌عینك را خیلی نزدیك به‌چشم خود نگاه داردکتاب را باید درچه فاصله ازچشم خود بگیرد تا آن‌را به‌راحتی بخواند؟

جواب: ۱۶ سانتیمتر

۲) حداکثر فاصله دید چشم نزدیك بینی ۰/۶۰ متر است مطلوبست نمره عینکی که باید به‌کار رود تا این چشم با آن بتواند اجسام دور را واضح ببیند. اگر برای این چشم از عینکی که نمره آن ۱/۲۵ — است استفاده شود حداکثر فاصله دید آن چقدر خواهد بود؟

جواب: تقریباً ۱/۶۷ — و ۲/۴ متر

۳) نزدیکترین فاصله دید شخص دوربینی ۰/۸۰ متر است . این شخص برای خواندن کتاب که

آنرا در فاصله ۰/۳۰ متری چشم خود نگاهداشته است از ذره‌بینی استفاده می‌کند که همگرایی‌آن ۵+ دیوپتری است معین کنید ذره‌بین را درچه‌فاصله از چشم خود باید نگاهدارد تا بتواند به‌طور وضوح کتاب را بخواند.
جواب: تقریباً ۱۵ سانتیمتر

۴) فاصله کانونی عدسی یك دستگاه عکاسی ۵ سانتیمتر است. می‌خواهیم با این دستگاه ابتدا از شیئی که در فاصله ۳ متری، سپس از شیء دیگری که در فاصله ۳۰ متری است عکس بگیریم. معین کنید پس‌ازعکس‌گرفتن از شیء نزدیکتر برای تنظیم دستگاه‌روی‌شیء دورتر چه‌اندازه بایدعدسی‌را جابجا کنیم.

۵) فواصل کانونی عدسیهای شیئی وچشمی میکروسکوپی به‌ترتیب ۰/۵cm و ۲cm وفاصله‌مراکز اپتیکی آنها از یکدیگر ۲۲cm است. اگر میکروسکوپ طوری تنظیم گردد که تصویر یك شیء در ۲۵ سانتیمتری چشم (که به‌عدسی چشمی بسیارنزدیك است) دیده‌شود فاصله شیء از عدسی شیئی وبزرگنمائی خطی میکروسکوپ را حساب کنید.

۶) عدسی چشمی یك تلسکوپ ذره‌بینی‌است‌که همگرائی‌آن ۲۰ دیوپتری است. این تلسکوپ روی شیء بسیار دوری میزان شده است و هنگامی که تصویر نهایی با چشم سالم بدون تطابق دیده‌می‌شود (یعنی در بینهایت تشکیل می‌گردد) فاصله عدسیهای چشمی وشیئی از یکدیگر ۱/۲۵ متراست. درشتنمایی این تلسکوپ را حساب کنید.

پاسخ به پرسشهای متن

۶-۱) وقتی‌که نور زیادباشد قطرمردمك‌کوچك وهنگامی‌که نورکم باشد قطرآن بزرگ می‌شود.

۶-۲) این شخص باید عینك واگرایی به‌کار ببرد‌که فاصلهٔ کانونی عدسی آن ۲۵ سانتیمترباشد تا تصویر اشیای خیلی دور را (که درکانون عدسی‌تشکیل می‌شوند) در ۲۵ سانتیمتری چشم خود ببیند. بنابراین همگرایی عدسی این عینك‌که آن را به C نمایش می‌دهیم برابراست با:

$$C=\frac{1}{f}=\frac{1}{-0/25m}=-\frac{100}{25}=-4 \quad \text{دیوپتری}$$

(علامت «−» معرف واگرا بودن عدسی است).

۶-۳) به شکل ۵-۱۶ واندازهٔ ظاهری اجسام مراجعه‌کنید.

۶-۴) اگر اندازهٔ بزرگی زاویه‌ای که برحسب رادیان[1] بیان می‌شود به «α» و فاصلهٔ شیء را از چشم به «d» نمایش دهیم‌طول شیء AB از رابطهٔ: $AB=d.\alpha$ حساب می‌شود. اگر d برحسب مترباشد AB نیز برحسب متر به‌دست می‌آید. α همواره برحسب رادیان است.

۶-۵) $20\times10=200$ برابر.

۱ـ رادیان زاویهٔ مرکزی مقابل به‌کمانی ازدایره است‌که طول آن برابرشعاع دایره باشد.



تجزیهٔ نور ـ رنگ نور

از قرنها پیش می‌دانستند که خرده شیشه‌های بی‌رنگ و بعضی از سنگهای شفاف قیمتی، وقتی در مسیر نور سفید قرار می‌گیرند، درخشنده و رنگارنگ به نظر می‌رسند ولی تا قرن هفدهم میلادی دربارهٔ شناسایی علت این پدیده اقدام جدی نشده بود.

نیوتن دانشمند انگلیسی در نیمهٔ قرن هفدهم این پدیده را با روش‌منظمی مورد بررسی‌قرارداد. مطالعهٔ نیوتن دراین زمینه‌هنگامی آغاز شدکه می‌اندیشید تا عیب رنگی بودن اطراف تصویرها که در تلسکوپ دیده می‌شد برطرف سازد. تلسکوپ درسال ۱۶۰۸ میلادی لی‌پِرْشِی[۱]، عینک ساز هلندی، اختراع شده بود.

آزمایش نیوتن با منشور

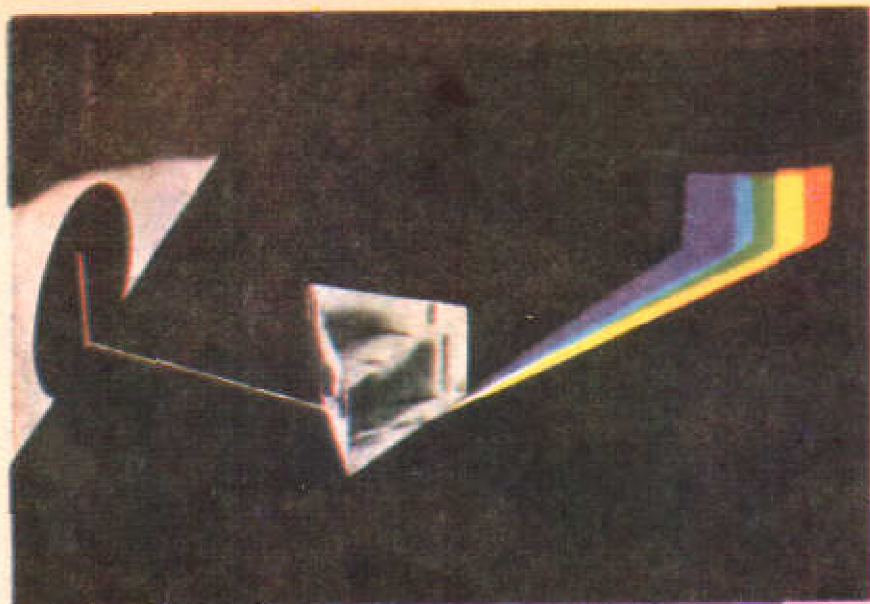
نیوتن آزمایشهای خود را باایجاد یک‌سوراخ گرد کوچک در پردهٔ یکی از پنجره‌های اتاق خود شروع کرد: نورآفتاب، به‌صورت یک دسته پرتو، از این سوراخ به درون اتاق می‌تابید و روی دیوار مقابل، لکهٔ روشنی تشکیل می‌داد. نیوتن در مسیر این دسته پرتو، یک منشور شیشه‌ای که قاعدهٔ آن‌به شکل‌مثلث بود قرارداد (شکل ۷-۱) ومشاهده‌کرد که روی دیوار به‌جای لکهٔ نورسفید یک‌لکهٔ رنگین تشکیل می‌شودکه درآن‌می‌توان هفت رنگ قرمز، نارنجی، زرد، سبز،آبی، نیلی‌وبنفش‌را تشخیص داد او این‌منظرهٔ رنگین را اسپکتروم[۲] نامید و ما اینک آن‌را طیف می‌نامیم. بیشتر اشخاص رنگ نیلی را از دنبالهٔ آبی به زحمت تمیز می‌دهند. نیوتن برای توجیه علت تشکیل طیف، این تئوری را وضع‌کرد:

نور سفید آمیزه‌ای ازهفت رنگ است. ضریب شکست شیشه برای هریک ازاین‌رنگها متفاوت است. بنابراین وقتی‌که یک دسته پرتو نورسفید برمنشورمی‌تابد هررنگ بازاویهٔ شکست‌ویژهٔ خودکه برای‌رنگهای دیگر متفاوت است شکست می‌یابد. درنتیجه‌رنگهای تشکیل‌دهندهٔ نور سفید از هم جدا می‌شوند و به‌شکل طیف هفت‌رنگ ظاهر می‌گردند.

پرسش ۷-۱ـ پس چرا نور وقتی از یک تیغهٔ شیشه‌ای متوازی‌السطوح می‌گذرد تجزیه‌نمی‌شود؟

شکل ۷-۱ نشان می‌دهدکه دسته پرتو نور تابش ضمن گذشتن از منشور به طرف قسمت ضخیم آن شکسته می‌شود ولی میزان شکست نور بنفش بیشتر و نور قرمز کمتر است. در این شکل، رنگ

۱ـ Lippershey
۲ـ Spectrum



شکل ۷-۱- آزمایش نیوتن با یک منشور.

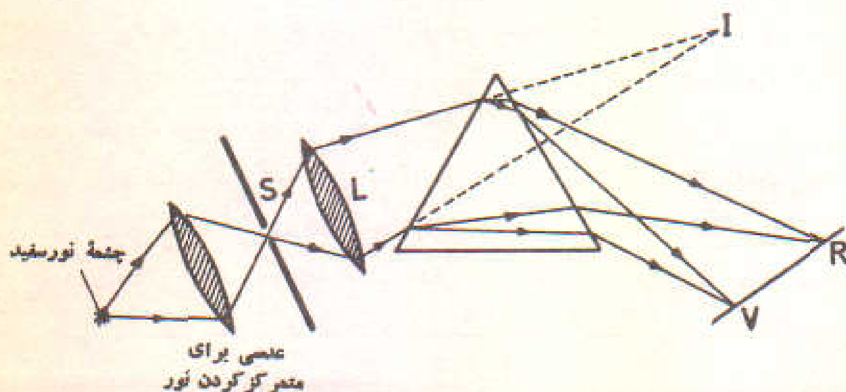
قرمز در بالا و رنگ بنفش در پایین و بقیهٔ رنگها بین این دو رنگ دیده می‌شوند.

پرسش ۷-۲- ازنظر خاصیت موجی بودن نور، رنگهایی که انحرافشان بیشتر است طول موجشان چگونه است؟

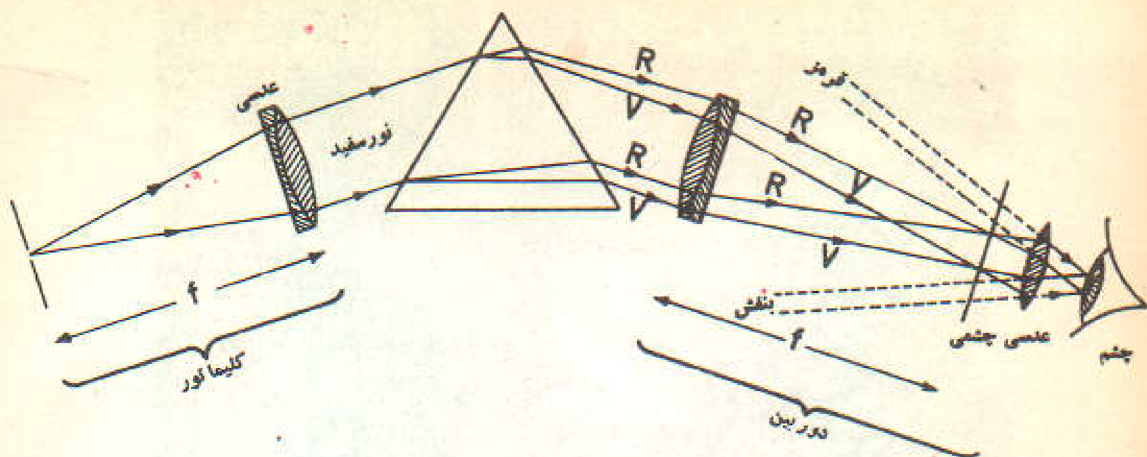
در واقع مرز مشخص بین دو رنگ مجاور هم نیست، بلکه هریک ازاین رنگها به‌تدریج تغییرمی‌کند، تا به‌رنگ دیگر تبدیل شود.

اصلاح نخستین آزمایش نیوتن - طیفی که‌در آزمایش اولیهٔ نیوتن تشکیل شد یکدست و خالص نبود. زیرا آنچه وی در نخستین آزمایش خود به دست آورد مجموعه‌ای از تصویرهای دایره‌ای‌شکل متوالی‌بود که هر یک قسمتی ازدیگری را پوشانیده بود. نیوتن‌آزمایش خود رابه‌ترتیبی که درشکل۷-۲ نمایش داده شده است اصلاح و تکرار کرد و طیف یکدست‌تر وخالص‌تری به‌دست آورد.

ترتیب‌آزمایش چنین است‌که نور سفیدحاصل از یک چشمهٔ مولد نور توسط یک عدسی همگرا بر روی شکاف‌باریک S متمرکز می‌شودوعدسی‌همگرای L از این شکاف روشن شده، درصورتی کـه منشور نباشد، تصویر I را تشکیل می‌دهد. وقتی که‌منشور درمسیر دسته پرتو نوری که از عدسی گذشته است



شکل ۷-۲- تولید طیف یکدست.



شکل ۷-۴- طرح ساده‌ای از اسپکتروسکوپ.

قرارمی‌گیرد این نور به هفت رنگ تجزیه می‌شود وطیف VR بر روی یك پرده تشکیل می‌گردد. هر چه شکاف S باریکتر باشد طیف حاصل، خالص‌تر و واضح‌تر است.

طیفنما

برای به‌دست‌آوردن طیف‌یکدست‌تروخالص‌تر ازآنچه در بالا بیان شد بهتراین است‌که ازیك‌دسته پرتو موازی در اسبابی به نام طیفنما یا اسپکتروسکوپ[۱] استفاده شود. این اسباب برای بررسی طیف هر نوع چشمهٔنور به کار می‌رود.

چشمهٔ نور مقابل شکافی که در کانون اصلی یك عدسی همگراست قرار می‌گیرد. نوری که از شکاف به‌عدسی می‌تابد به صورت یك دسته پرتو موازی ازآن خارج شده وارد منشور می‌شود وپس از شکست و تجزیه در منشور، به صورت دسته پرتوهای موازی و رنگین جداگانه درمی‌آید که هر دسته درسطح کانونی‌عدسی دیگری جمع شده وروی هم طیفی را تشکیل می‌دهند. در اینجا طیف ممکن است روی پردهٔ سفیدی تشکیل گردد یاتوسط ذره‌بینی بزرگتر ازآنچه هست دیده شود (شکل ۷-۳).

هرچه شکاف باریکتر باشد روی هم افتادگی رنگها کمتر وطیف یکدست‌تر وخالص‌تر است.

مجموعهٔ شکاف وعدسی‌اول به‌نام کُلیماتور[۲] نامیده می‌شود (یعنی‌موازی‌کننده). ومجموعهٔعدسی دوم وذره‌بین روی‌هم یك دوربین‌را تشکیل‌می‌دهد.

ترکیب رنگهای طیف

همان‌طور که نورسفید می‌تواند به رنگهای ساده تجزیه شود منطقی به نظر می‌رسد که اگر رنگهای سادهٔ موجود درنورسفید با هم‌ترکیب‌شوند نورسفید حاصل‌شود. این کاررا می‌توان باقراردادن منشور دیگری مشابه با منشور اول به طور وارونه درمسیرنور تجزیه شده انجام داد (شکل ۷-۴).

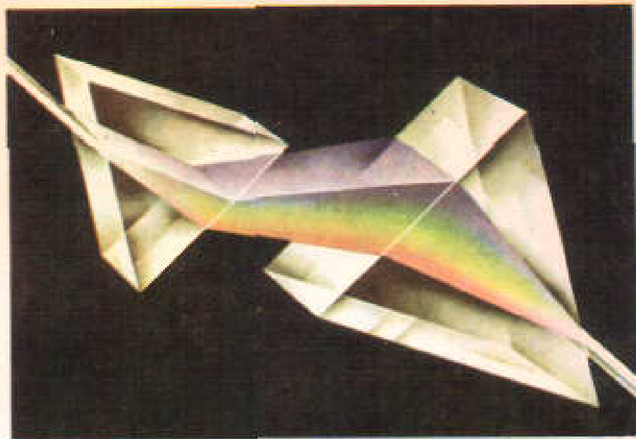
نیوتن‌ترکیب‌رنگهارابه‌وسیلهٔقرص‌چرخنده‌ای که روی‌آن رابه‌شکل‌قطاعهایی به‌هفت رنگ موجود در طیف نورسفید رنگ‌آمیزی کرده بود انجام داد. هرگاه این قرص به‌سرعت چرخانده شود سطح آن

۱- Spectroscope   ۲- Collimator

می‌شود.

نقش صافیهای نور در شناسایی رنگهای طیف

هرگاه در شکلهای ۷-۲ و ۷-۳ جلو شکاف باریک صافیهای (فیلتر[1]) نور که شیشه‌های رنگین یا صفحه‌های ژلاتینی رنگین هستند گذارده شود نتایج جالبی به دست خواهد آمد. درفصل ۱ دیدیم نوری که از یك مادهٔ شفاف رنگین می گذرد همواره به رنگ ماده است. دراینجا نیز با توجه به رنگهای مختلف طیف نور سفید می‌توانیم به‌نقش صافیهای نور که درواقع مواد شفاف رنگین هستند درعبور دادن بعضی از

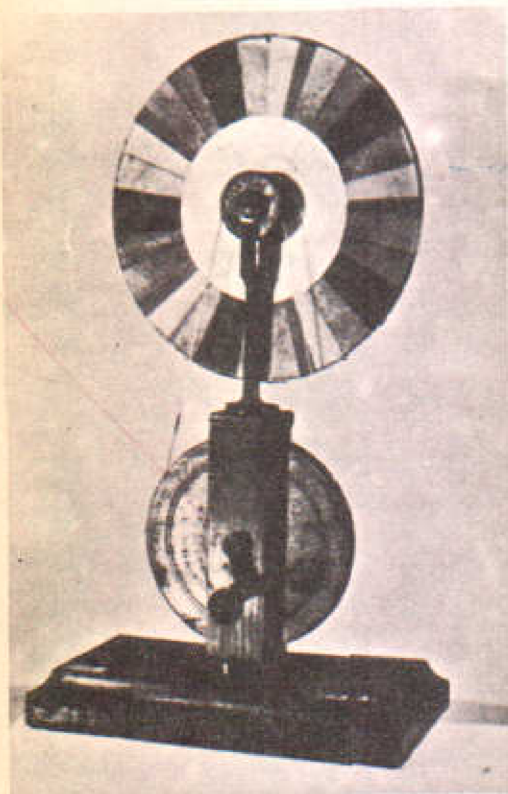


شکل ۷-۴ - ترکیب رنگهای طیف و تولید نورسفید.

سفید به‌نظر می‌رسد. علت این است که اثریك تصویر برروی شبکیهٔ چشم تامدت کوتاهی (که کسر کوچکی از ثانیه است) پس‌ازمحو شدن تصویر باقی می‌ماند. درنتیجه مغز انسان تصویر رنگهای مختلف را که به سرعت ازجلو چشم می گذرند در هم می‌آمیزد و تصویر سفید ساکنی را احساس می کند.

شکل ۷-۵ قرص نیوتن را که صفحهٔ آن به چندین قطاع تقسیم شده و هر قطاع به هفت رنگ طیف رنگ‌آمیزی شده است نشان می‌دهد. اگر این قرص با نور سفید روشن شود و به سرعت بچرخد سطح آن سفید به‌نظر می‌رسد.

در اینجا بایدیادآورشویم که تصویرهای بدون لرزشی که توسط پروژکتور برپردهٔ سینما تشکیل می‌شوند به‌علت‌باقی‌ماندن اثرتصویر برشبکیهٔ‌چشم است که دربالا به‌آن اشاره شد زیرا در هرثانیه ۲۴ تصویر توسط پروژکتور ازفیلم برپردهٔ سینما می‌افتد و هنوز اثر یك تصویر از پردهٔ شبکیه محو نشده است که تصویر بعدی روی آن تشکیل می گردد و به همین جهت در حرکتها احساس پیوستگی طبیعی



شکل ۷-۵- قرص نیوتن

۱- filter

رنگهای طیف و جذب رنگهـای دیگر آن پی‌ببریم. مثلاً یك صافی ژلاتینی قرمزهمهٔ رنگهای طیف‌نور سفید را به جز رنگ قرمز جذب می‌کند. به همین ترتیب‌صافی سبز فقط نورسبزرا ازخودعبورمی‌دهد. بنابراین درحالتی‌که صافی قرمز جلوشکاف قرارمی‌گیرد درطیف فقطرنگ قرمزدیده می‌شود ودرحالتی که صافی سبز جلو شکاف قرارداده می‌شود در طیف فقط رنگ سبز ظاهر می‌گردد. ولی درمورد صافی ژلاتینی زرد مسئله چیز دیگری است. طیفی که از بیشتر انواع صافیهای ژلاتینی‌زرد رنگ‌به‌دست‌می‌آید علاوه بر رنگ زرد شامل دورنگ سبز و قرمز نیز هست. در اینجا نکتهٔ جالب توجه این است‌که اثر این رنگ زرد ترکیبی برچشم درست مانند اثر نور زرد خالصی است‌که از یك صافی ویژهٔ نـور زرد به چشم می‌رسد. برای این کـه از لحـاظ نـامگذاری تشخیص این دو نوع زرد آسان‌باشد رنگ زرد اولی را زردمرکب ورنگ زرد دومی را زرد ساده می‌نامیم. آزمایش‌نشان می‌دهد که زرد گلبرگها و بیشتر رنگهای زرد نقاشی، زرد مرکب هستند.

برای این‌که یك چشمهٔ نور با رنگهای سادهٔ مختلف داشته باشیم می‌توانیم یك لامپ الکتریکی معمولی را درون محفظهٔ‌کدری‌که دهانهٔ بازی دارد قراردهیم وجلو این دهانه رابا صافیهای رنگین‌مورد نظر بپوشانیم. با چنین چشمهٔ نوری‌می‌توانیم‌اجسام مختلف رنگی‌را درون یك اتاق تاریك درمسیرتابش پرتوهای رنگین قراردهیم ورنگی‌راکه پیدا می‌کنند مشاهده کنیم. مثلا جسم قرمز در نور قـرمز به رنگ قرمز دیده می‌شود در صورتی که اجسام سبز یا آبی در نور قرمز تیره به نظر می‌رسند زیرا ایـن اجسام نور قرمز را جذب می‌کنند.

پرسش ۷-۳- گل نرگس زرد در مقابل چه نورهایی به رنگ زرد دیده می‌شود؟ اگر به‌این گل نور قرمز یا سبز بتابد به چه رنگ دیده می‌شود و اگر به آن نور آبی یا بنفش بتابد به چه رنگ دیده می‌شود؟

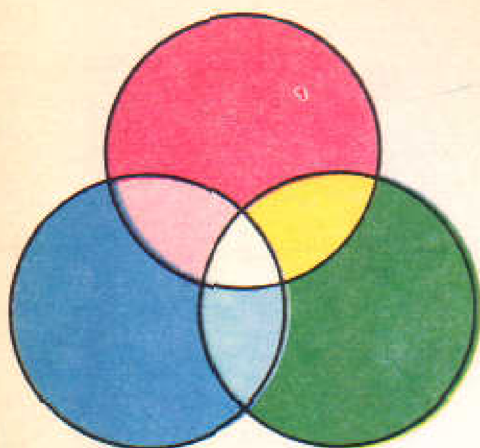
رنگهای اصلی وفرعی

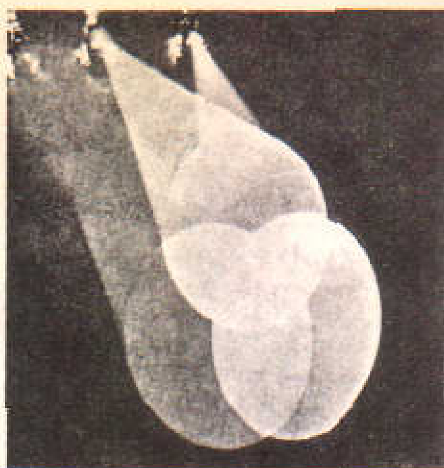
نور زرد را می‌توان ازآمیختن دو نور قرمز و سبز به‌دست آورد ولی‌ممکن نیست نورهای قرمز یا سبز یا آبی را ازآمیختن‌دونور رنگین دیگرتولید کرد. به‌همین‌جهت‌رنگهای‌قرمز،سبزوآبی را «رنگهای اصلی» می‌نامند.

رنگ زرد نور را رنگ فرعی می‌نـامند. دو رنگ فرعی دیگر نیزداریم: یکی گلی که از به هم آمیختن دونور قرمز وآبی حاصل می‌شود و دیگری فیروزه‌ای‌که ازمخلوط دونور سبز وآبی به‌دست‌می‌آید (شکل ۷-۶).

به هم آمیختن رنگهای نور - قبل‌ازشروع مطلب توجـه به‌این نکته لازم است کـه نتیجهٔ به هم آمیختن رنگهای نور با نتیجهٔ مخلوط کردن رنگهای نقاشی کاملاً متفاوت است.

برای مطالعهٔ اثرهای حاصل از به‌هم آمیختن رنگهای نور باید ازسه چشمهٔ نورجداگانه، مثلاً از سه‌پروژکتور،استفاده‌شود. بدین‌ترتیب که،صافیهای رنگین را که معمولاً به صورت اسلاید ساخته می‌شوند درون پروژکتورها قرارداده وتصویرآنها را، بـه شکل دایره‌های رنگین، برروی یك پردهٔ سفید طوری تنظیم‌کنندکه هردایره قسمتی ازدایره دیگررا بپوشاند وسه تصویر در یك قسمت مشترك باشند. به این وسیله می‌توان نشان دادکه از به‌هم آمیختن





شکل ۷-۶

سه رنگ اصلی قرمز و سبز و آبی نورسفید حاصل می‌شود (شکل ۷-۶).

برای این‌که ازآزمایش نتیجهٔ مطلوب به‌دست آید باید دقت کرد که صافیهای مناسبی برای تولید سه رنگ اصلی قرمز وسبز وآبی به کاربرده شود، علاوه براین شدت نور هر پروژکتور مناسب‌باشد.

با استفاده از دوپروژکتورمی‌توان واقعیتهای زیر را نیز درمورد به هم‌آمیختن‌رنگها تحقیق کرد:

زرد = سبز + قرمز

گلی = آبی + قرمز

فیروزه‌ای = سبز + آبی

با توجه به این واقعیتها و با در نظر گرفتن این که نور سفید در اثر به هم آمیختن سه رنگ اصلی قرمز و سبز و آبی تولید می‌شود می‌توانیم نتیجه بگیریم که:

سفید = گلی + سبز

سفید = فیروزه‌ای + قرمز

سفید = آبی + زرد

به‌کمك دوپروژکتورکه درآنها صافیهایی به رنگهای مناسب قرارداده شود می‌توان درستی این نتایج را بررسی کرد.

هر دورنگی که از به‌هم آمیختن آنها نورسفید به دست آید **رنگهای مکمل** نامیده می‌شوند مثلاً نور زرد مکمل نورآبی و قرمز مکمل فیروزه‌ای و سبز مکمل گلی است.

پرسش ۷-۴- کدام رنگ نور می‌تواندمکمل دو نور قرمز وسبز باشد؟

مخلوط کردن رنگهای نقاشی - نخستین چیزی‌که یك هنرآموز نقاشی یاد می گیرد این است که چگونه رنگ سبز را از مخلوط کردن دو رنگ زرد وآبی به دست بیاورد. باید توجه داشت‌که اگر دو رنگ زرد و آبی کاملا ساده و واقعی باشند این کار ممکن نیست. به‌عبارت دیگر عامل موفقیت در ساختن رنگ سبز نقاشی ازمخلوط دورنگ زردوآبی بستگی به این دارد که این دو رنگ ساده و خالص نباشند.

رنگ زردنقاشی‌یك رنگ مرکب‌است به‌طوری که وقتی با نورسفید روشن می‌شود رنگهای قرمز و

زرد وسبز را باز می‌تاباند وآبی را جذب می‌نماید. رنگ آبی نقاشی هم رنگ ساده‌ای نیست وهنگامی که نورسفید به‌آن می‌تابد آبی وسبز را باز می‌تاباند وقرمز وزرد را جذب می‌کند. بنابراین وقتی که این دورنگ بـه نسبت مساوی مخلوط می‌شوند، روی هم، قرمز و زرد وآبی را جذب می‌کنند وتنها رنگی را که هر دو مشترکاً بازمی‌تابانند سبز است درنتیجه مخلوط آنها سبز به‌نظرمی‌رسد.

پرسش ۷-۵ - اگـر سه رنگ گلـی و زرد **وفیروزه‌ای را بـا هم مخلوط کنیم چه‌رنگی به‌دست خواهد آمد؟**

پرسش ۷-۶- چه تفاوتی‌بین‌رویدادهای‌ناشی از به‌هم‌آمیختن‌رنگهای نقاشی‌ورنگهای نوراحساس می‌کنید؟

خودتان آزمایش کنید

۱) با یك منشور و دوعدسی و یك لامپ‌که درجلوآن شکاف باریکی قراردارد دستگاهی مانندشکل ۷-۲ سوارکنید وطیف نور سفید حاصل ازلامپ راتشکیل‌دهید. به‌کمك صافیهای مختلفی‌که درآزمایشگاه موجود است رنگهای مختلف طیف را بررسی کنید.

۲) در صورتی کـه لامپ سدیم یـا لامپ جیوه در اختیار دارید آنهـا را روشن کرده جلو شکاف دستگاه قرار دهید و طیف آنها را با طیف نورسفید مقایسه کنید و نتایج مشاهدات خود را بنویسید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) علت تجزیهٔ نور سفید در منشور چیست؟ با رسم یك شکل طرز تجزیهٔ نور سفید را در منشور نشان دهید.

۲) درطیف نورسفید حاصل ازیك منشورکدام رنگ بیشتر وکدام رنگ‌کمتر منحرف می‌شود.

۳) دوآزمایش شرح دهیدکه دریکی از آنها نورسفید به رنگهای مختلف تجزیه شود و در دیگری رنگهای تجزیه شده دوباره با هم ترکیب شده نور سفید را تشکیل دهند.

۴) با رسم شکل نشان دهید که برای تشکیل طیف یکدست و خالص نورسفید بر روی یك پرده وسایل لازم را چگونه باید ردیف‌کرد. توضیح دهید:

الف- اگر در مسیر نور سفید یك صافی آبی ساده قراردهیم در طیف روی پرده چه تغییری ایجاد می‌شود.

ب- اگرصافی آبی را برداریم ولی به‌جای پردهٔ سفید یك پردهٔ قرمز قرار دهیم چه تغییری درطیف حاصل می‌شود.

ج- اگر پردهٔ قرمز درجای خود باشد وصافی آبی‌را دوباره درمسیر نور جلوشکاف قراردهیم‌طیف

چگونه به نظر می‌رسد.

دربارهٔ جوابهای خود شرح مختصری بدهید.

۵) توضیح دهید چگونه طیف نور حاصل ازیك لامپ الکتریکی را می‌توان برروی یك پردهٔ سفید تشکیل داد؟ مسیرنور راکه ازوسایل مختلف می‌گذرد رسم‌کنید. توضیح دهید چه تغییراتی‌درطیف حاصل می‌شود اگر:

الف- جلو لامپ یك شیشهٔ قرمز بگذاریم؛

ب- شیشهٔ قرمز را برداشته به‌جای پردهٔ سفید یك پردهٔ سبزبگذاریم؛

ج- ازشیشهٔ قرمز وپردهٔ سبز با هم استفاده‌کنیم.

۶) توضیح دهید:

الف- چرا اگردوشیشه به رنگهای آبی و زرد را روی هم‌گذاشته وآنها را درمسیر نور سفید قرار دهیم مقدار نوری‌که از این مجموعه می‌گذرد خیلی‌کم است.

ب- چرا از مخلوط‌کردن دو رنگ نقاشی آبی وزرد، رنگ سبزتولید می‌شود،

ج- چرا یك جسم آبی رنگ در نور زرد به‌رنگ سیاه دیده می‌شود؟

۷) اگر برگیاهی که برگهای سبز و گلهای قرمز دارد به ترتیب نورهای سبز و قرمز وآبی بتابد برگها وگلهای این گیاه در هریك از این نورها به‌چه رنگ دیده می‌شوند؟ فرض‌کنید تمام این رنگهاساده وخالص هستند.

۸) فاصلهٔ‌کانونی یك عدسی ساده برای نور قرمز با فاصلهٔ‌کانونی همین عدسی‌برای نورآبی‌متفاوت است. علت این تفاوت را بیان‌کنید. با استدلال توضیح دهیدکه‌کدام یك از دواندازهٔ فاصلهٔ کانونی برای این دورنگ بزرگتر است.

پاسخ به پرسشهای متن

۷-۱) نورسفید وقتی که از هوا وارد تیغهٔ شیشه‌ای متوازی‌السطوح می‌شود تجزیه می‌گردد ولی پس ازخروج ازتیغه دوباره اجزای آن با هم ترکیب می‌شوند. زیرا تیغه‌فقط پرتوهای تابش را به‌موازات خود انتقال می‌دهد.

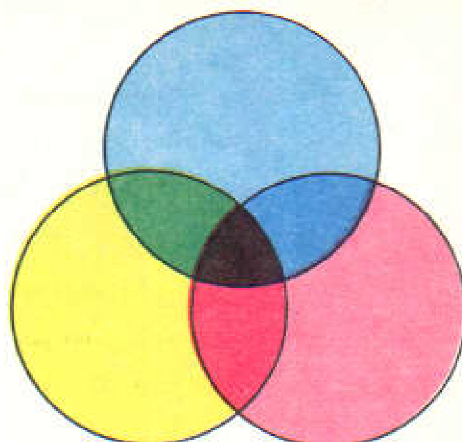
۷-۲) طول موجشان‌کوتاهتر است. زیرا انحراف نورهای‌آبی وبنفش بیشتر ازنورهای رنگین‌دیگر است ومی‌دانیدکه این رنگهاطول موج‌کوتاهتری دارند.

۷-۳) درمقابل نورهای سفید وزرد.

درنور قرمز به نظر قرمز و در نور سبز به‌نظرسبز می‌آید. زیرا رنگ زرد نرگس یك رنگ مرکب است که نورهای قرمز وسبز را باز می‌تاباند، ولی، در نور آبی یا بنفش تیره به‌نظر می‌رسد زیرا این رنگها راجذب می‌کند.

۴-۷) آبی، زیرا ازمخلوط سه نور قرمز وسبز وآبی نورسفید به وجود می‌آید.

۵-۷) سیاه، زیرا مخلوط دو رنگ زرد و فیروزه‌ای رنگ سبز تولید می‌کند واین رنگ، رنگ گلی را جذب می‌نماید (شکل ۷-۷).



شکل ۷-۷

۶-۷) وقتی رنگهای نقاشی با هم مخلوط می‌شوند پاره‌ای از رنگها به‌علت جذب در مادهٔ رنگین حذف می‌گردند درصورتی که هنگام به هم آمیختن رنگهای نور، حاصل از بازتابش از روی پردهٔ سفید، هیچ رنگی حذف نمی‌شود بلکه رنگها به‌هم اضافه می‌شوند.

جدول سینوسها، کسینوسها و تانژانتها

زاویه	سینوس	کسینوس	تانژانت	زاویه	سینوس	کسینوس	تانژانت
0°	0.000	1.000	0.000	45°	0.707	0.707	1.000
1	0.017	1.000	0.017	46	0.719	0.695	1.036
2	0.035	0.999	0.035	47	0.731	0.682	1.072
3	0.052	0.999	0.052	48	0.743	0.669	1.111
4	0.070	0.998	0.070	49	0.755	0.656	1.150
5	0.087	0.996	0.087	50	0.766	0.643	1.192
6	0.105	0.995	0.105	51	0.777	0.629	1.235
7	0.122	0.993	0.123	52	0.788	0.616	1.280
8	0.139	0.990	0.141	53	0.799	0.602	1.327
9	0.156	0.988	0.158	54	0.809	0.588	1.376
10	0.174	0.985	0.176	55	0.819	0.574	1.428
11	0.191	0.982	0.194	56	0.829	0.559	1.483
12	0.208	0.978	0.243	57	0.839	0.545	1.540
13	0.225	0.974	0.231	58	0.848	0.530	1.600
14	0.242	0.970	0.249	59	0.857	0.515	1.664
15	0.259	0.966	0.268	60	0.866	0.500	1.732
16	0.276	0.961	0.287	61	0.875	0.485	1.804
17	0.292	0.956	0.306	62	0.883	0.469	1.881
18	0.309	0.951	0.325	63	0.891	0.454	1.963
19	0.326	0.946	0.344	64	0.899	0.438	2.050
20	0.342	0.940	0.364	65	0.906	0.423	2.145
21	0.358	0.934	0.384	66	0.914	0.407	2.246
22	0.375	0.927	0.404	67	0.921	0.391	2.356
23	0.391	0.921	0.424	68	0.927	0.375	2.475
24	0.407	0.914	0.445	69	0.934	0.358	2.605
25	0.423	0.906	0.466	70	0.940	0.342	2.747
26	0.438	0.899	0.488	71	0.946	0.326	2.904
27	0.454	0.891	0.510	72	0.951	0.309	3.078
28	0.469	0.883	0.532	73	0.956	0.292	3.271
29	0.485	0.875	0.554	74	0.961	0.276	3.487
30	0.500	0.866	0.577	75	0.966	0.259	3.732
31	0.515	0.857	0.601	76	0.970	0.242	4.011
32	0.530	0.848	0.625	77	0.974	0.225	4.331
33	0.545	0.839	0.649	78	0.978	0.208	4.705
34	0.559	0.829	0.675	79	0.982	0.191	5.145
35	0.574	0.819	0.700	80	0.985	0.174	5.671
36	0.588	0.809	0.727	81	0.988	0.156	6.314
37	0.602	0.799	0.754	82	0.990	0.139	7.115
38	0.616	0.788	0.781	83	0.993	0.122	8.144
39	0.629	0.777	0.810	84	0.995	0.105	9.514
40	0.643	0.766	0.839	85	0.996	0.087	11.43
41	0.656	0.755	0.869	86	0.998	0.070	14.30
42	0.669	0.743	0.900	87	0.999	0.052	19.08
43	0.682	0.731	0.933	88	0.999	0.035	28.64
44	0.695	0.719	0.966	89	1.000	0.017	57.29
45	0.707	0.707	1.000	90	1.000	0.000	

منابعی که در تدوین کتاب به آنها مراجعه شده است

۱– ORDINARY LEVEL PHYSICS, A. F. ABBOTT.

۲– PHISICS, Edited by D. W. SCOTT, M. A.

۳– COLLEGE PHYSICS, PHYSICAL SCIENCE, STUDY COMMITTEE.

۴– FOUNDATION OF PHYSICS, ROBERT L. LEHRMAN CLIFFORD SWARTZ.

۵– PHYSICS, IRWIN GENZER PHILIP YOUNGNER.

۶– PHYSICS, TAFFEL.

۷– The SCIENCE OF PHYSICS, ARTHUR BEISER.

۸– MODERN PHYSICS, CHARLES E. DULL, H. CLARK METCALFE WILLIAM BROOKS.

۹– PHYSIQUE, J. CESSAC, G. TRÉHERNE, 2eC.

۱۰– PHYSIQUE, PIERRE MACQ, PIERRE STOUFFS.
(Classe de troisièwe در کشور بلژیک)

۱۱– PHYSIQUE GÉNÉRALE, H. BRASSEUR, H. SAUVERNIER.

۱۲– CHALEUR, THERMODYNAMIQUE, ETATS DE LA MATIERE, P. FLEURY et J. P. MATHIEU.

۱۳– The Working World of PHYSICS, I. M. L. JENKINS.

